

不同生长发育阶段木麻黄林生态系统的碳贮量*

1. 福建省林业科学研究院 2. 福建省森林培育与林产品加工利用重点实验室
3. 南方森林资源与环境工程研究中心 4. 福建农林大学林学院 5. 厦门大学海洋与环境学院
6. 中国科学院地理科学与资源研究所 7. 福建省惠安国有防护林场
叶功富^{1,2,3} 郭瑞红⁴ 卢昌义⁵ 肖胜生⁶ 吴惠忠⁷

[摘要] 以不同发育阶段的木麻黄人工林为研究对象,对乔木层不同器官和凋落物层、土壤层样品含碳率和碳贮量进行了分析。结果表明:不同发育阶段木麻黄不同器官碳密度表现为:中龄林最大、成熟林次之、幼龄林最小,凋落物层含碳率表现出与乔木层平均含碳率相似的规律:土壤含碳率随土壤深度的增加而降低,且成熟林>中龄林>幼龄林。木麻黄人工林年净固碳量差异主要体现在乔木层,凋落物年固碳量亦存在显著差别,但比重小于乔木层。

[关键词] 木麻黄 人工生态系统 含碳率 碳贮量

近年来,随着天然林资源不断减少,人工林面积有所增加,人工林在森林生态系统中占有越来越重要的地位^[1]。中国现有人工林保存面积已达到 5300 多万公顷,已成熟林的人工林面积约 3425 万公顷,居世界之首。但目前有关人工林生态系统碳循环的研究不多^[2,3],而对沿海防护林中的一个重要树种—木麻黄的研究更是少见。进行沿海防护林人工林生态系统碳循环研究具有越来越重要的意义^[4]。

如何准确地定量研究森林生态系统在全球 CO₂ 收支平衡中的作用是全球碳循环研究的难点和难点之一^[5,6]。碳循环的研究首先是碳贮量和碳通量,随着国际社会对全球气候变化的重视,CO₂ 作为最重要的一种温室气体,其源与汇成为全球关注的热点^[7]。森林碳贮量及其与大气 CO₂ 的交换通量的估计,普遍采用的方法是通过直接或间接测定森林植被的生产量与生物量现存量再乘以生物量中碳元素的含量推算而得。因此,森林群落的生物量及其组成树种的含碳率是研究森林碳贮量与碳通量的两个关键因子,对他们的准确测定或估计是估算区域和全国森林生态系统碳贮量及通量的基础;到目前为止,国内外对森林群落生物量及生产力的研究已随着碳循环研究的升温逐渐增多^[8]。相较之下,对于森林群落含碳率及碳贮量的研究还处于起步阶段。在不同植物及同一植物的不同器官中的碳元素含量是有差别的,土壤不同剖面层次的碳贮量也存在差异^[9]。

为了能精确估算沿海木麻黄防护林人工生态系统碳贮量,有必要对该系统各主要林龄阶段的含碳率及碳贮量分别进行测定和分析。本文对不同龄林木麻黄人工林生态系统各

组分含碳率进行了分析,最后对其碳贮量及年净固碳量进行了计算,为进一步研究该生态系统对碳循环及碳汇的作用的研究提供基础数据。

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°55' E, 24°55' N),属南亚热带海洋性季风气候,年平均气温 19.8℃;年均降水量 1 029mm,年均蒸发量 2000 mm;夏季(7-9 月)多台风和暴雨天气,秋季东北风强盛,8 级以上的大风天达 105 d,年平均风速 7.0m·s⁻¹,干湿季明显。土壤为均一性风积沙土,沙土层厚度 80-100 cm。

2 研究方法

2.1 试验设计

在惠安赤湖林场选择立地条件相似的不同发育阶段(幼龄林、中龄林和成熟林)的木麻黄人工林,每种林分中分别建立 3 个 20m×20m 标准地,共建立 9 个标准地。

2.2 试验方法

2.2.1 含碳率测定

2.2.1.1 植株样品含碳率测定

对惠安不同发育阶段木麻黄人工林的各个样地进行每木调查,根据叶功富等得出的木麻黄生物量模型 $\ln W = a + b \ln(D^2 H)$,系数 a 和 b 见表 1,进行生物量的计算;年净生产力采用一年间的生物量实测值相减而计算得出。同时根据林分平均胸径和树高,选取平均木 1-2 株,要求所选平均木胸径、树高和林分平均值误差不超过 5%;伐到后,分层次分干、叶(分当年生叶和老叶)、枝(分当年生枝和老枝)、根

* 基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD03A14-01),福建省重大科技专项(2006NZ0001-2)。

(分为<0.2cm, 0.2~0.5cm, >0.5cm 和根头) 采集标准木乔木层的分析样品, 并用挖掘法测定根系生物量; 采集的乔木层不同器官和凋落物层样品随机抽取 30% 样品带回室内, 烘干测定后换算成为干重重量; 再经粉碎、过筛后, 用全自动碳氮分析仪测定含碳率。乔木层平均含碳率是各器官含碳率的加权平均值, 然后计算乔木层的生物量。

表1 生物量计算的 a 和 b 系数取值

组分	Faction	a	b	r
干材	Trunk	0.478	0.515	0.976
树皮	Bark	-2.725	0.685	0.989
树枝	Branch	0.585	0.248	0.996
树叶	Leaf	1.405	0.141	0.964
果实	Cone	-8.105	1.157	0.975
根系	Root	0.8	0.251	0.987
全林	Community	1.825	0.412	0.978

2.2.1.2 土壤样品含碳率测定

在设置的样地内按“S”形随机设定取样点 5 个, 在每个取样点按 0~10cm、10~25cm、25~40cm、40~70cm、70~100cm 分层取样, 土样在室内风干后过 0.149mm 筛, 采用重铬酸钾热法测定土壤含碳率; 同时用环刀取原状土, 带回室内测定不同层次土壤的容重。

2.2.2 碳贮量及年净固碳量计算

2.2.2.1 植被层碳贮量及年净固碳量计算

乔木层碳当年净固定量是指乔木层的生物量碳当年积累量和碳当年归还量之和。根据乔木层各器官(干、枝、叶、皮、果、根)凋落物层的生物量乘各组分转换系数, 求得碳贮量。不同组分的转换系数是根据在进行生物量测定时所取得的样品而实测得到有机碳数值。乔木层的碳贮量为乔木层各器官碳贮量之和, 乔木层年净固碳量是各器官年净生产力与对应含碳率乘积的累和, 凋落物年净固碳量是年凋落量与其含碳率的乘积。

表2 不同发育阶段木麻黄林乔木层各器官含碳率 (%)

林分	干	皮	枝	叶	果	根	平均
幼龄林	46.5±0.21	45.4±0.32	46.8±0.27	47.92±0.18	47.0±0.61	48.6±0.49	47.0±1.14
中龄林	49.5±0.31	48.7±0.41	49.9±0.48	50.47±0.42	50.0±0.29	51.7±0.32	50.0±1.02
成熟林	48.5±0.48	48.0±0.45	48.8±0.38	50.97±0.32	49.2±0.18	51.4±0.28	49.5±1.38

3.1.2 木麻黄林凋落物层含碳率

由表3可见, 不同发育阶段凋落物层含碳率存在差别, 表现出了与乔木层平均含碳率相似的规律, 中龄林最大, 成熟林次之, 幼龄林最小。其中中龄林和幼龄林差异达到了显著水平。中龄林凋落物层含碳率分别是幼龄林和成熟林的1.05倍和1.01倍。从表1、表2可知, 木麻黄林各组分含碳率为乔

2.2.2.2 土壤层碳贮量计算

由于本次调查人工林分布的土层厚度在100cm左右, 因此本文对土壤碳贮量的估算限定在土层100cm的深度范围内, 不包括地表枯落物。具体采用下面的公式:

$$S_d = \sum_{i=1}^l D_i C_i H_i$$

其中, S_d 表示土壤表层i深度内单位面积土壤碳贮量(t/hm^2), D_i 表示第i土层的容重(t/m^3), C_i 表示第i土层的含碳率(%), H_i 表示第i土层的厚度(m)。

3 结果与分析

3.1 含碳率分析

3.1.1 木麻黄林乔木层各器官含碳率

不同发育阶段木麻黄不同器官碳密度波动在0.4542~0.5178 $g \cdot g^{-1}$ 之间(如表2), 与我国速生阶段杉木不同器官波动在0.4558~0.5003 $g \cdot g^{-1}$ 之间^[10]、18a生国外松不同器官波动在0.5180~0.5590 $g \cdot g^{-1}$ ^[11]、热带雨林0.4562~0.5790 $g \cdot g^{-1}$ ^[12]具有相似性。木麻黄幼龄林、中龄林、成熟林乔木层平均含碳率分别是47.07%, 50.09%和49.53%, 表现为中龄林最大, 成熟林次之, 幼龄林最小, 中龄林的平均含碳率分别是成熟林和幼龄林的1.01倍和1.06倍。中龄林与幼龄林间差异达到了显著水平($P < 0.05$)。但同一器官在不同发育阶段间差异程度有所不同, 其中幼龄林的叶、干、枝、根含碳率与中龄林的差异达到了显著水平, 幼龄林的皮和叶含碳率与成熟林的差异亦达到了显著水平。而同一发育阶段, 不同器官的含碳率亦存在差异, 表现为 $C_{根} > C_{叶} > C_{果} > C_{枝} > C_{干} > C_{皮}$, 幼龄林、中龄林、成熟林各器官变异系数分别为2.42%, 2.04%和2.78%。杉木不同器官碳密度研究中, 树叶碳密度大于树干, 树干又大于树根, 苏南栎林、国外松的碳密度也是树叶大于树枝、树干和树根^[11], 说明木麻黄不同器官碳密度含量状况与这些林分不同。

木层大于凋落物层。这主要与生态系统的环境有关, 人工林乔木层叶片处于林冠上部, 有较长的日照时间和充足的光能, 从而可以截获较多太阳能, 有利于植物的光合作用, 积累较多的有机物。

表3 不同发育阶段木麻黄凋落物层含碳率 (%)

林分	成熟林 MP	中龄林 MAP	幼龄林 YP
枝	47.91±0.58	48.39±0.61	46.14±0.32
叶	50.47±0.41	50.50±0.41	47.93±0.37
果	48.66±0.32	49.21±0.29	46.48±0.27
平均	49.01±1.32	49.37±1.06	46.85±0.95

3.1.3 木麻黄林土壤层含碳率

木麻黄幼龄林、中龄林、成熟林林地0~100cm土层平均含碳率表现出随林龄增大而增大的趋势，且幼龄林和成熟林间差异达到了显著水平(P<0.05)。而不同发育阶段土壤含碳率的差异主要体现在0~10cm和10~25cm土层上，且随着土层深度增加差异逐渐减小，到100cm时差异基本消除，由表4及图1所示。

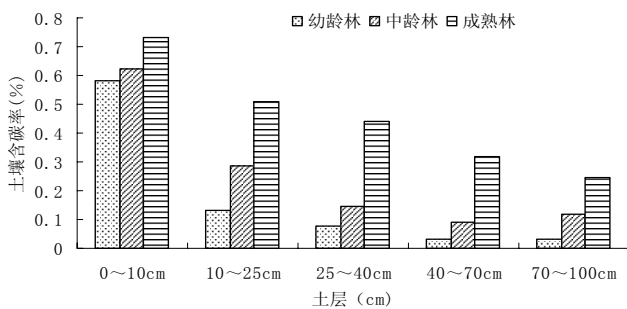


图1 木麻黄不同发育阶段土壤含碳率垂直分布

土壤含碳率在垂直分布上表现为随土壤深度的增加而降

表4 不同发育阶段木麻黄林土壤层含碳率 (%)

土层 (cm)	0~10	10~25	25~40	40~70	70~100	平均值
幼龄林	0.583±0.084	0.131±0.028	0.078±0.016	0.033±0.006	0.03±0.008	0.171±0.028
中龄林	0.623±0.082	0.285±0.031	0.144±0.024	0.091±0.019	0.118±0.040	0.252±0.039
成熟林	0.733±0.097	0.51±0.081	0.439±0.075	0.32±0.074	0.245±0.042	0.449±0.074

可见，幼龄林随土壤深度的增加土壤层含碳率显著的减小，而成熟林土壤层的含碳率随土壤层深度的增加变化较幼龄林和中龄林平缓。

3.2 碳储量及年净固碳量计算

3.2.1 不同林龄木麻黄人工林生态系统碳储量及分配

3.2.1.1 木麻黄林乔木层碳储量

由表5可知，木麻黄林乔木层各器官的碳储量和总碳储量均表现出随林龄增加而增加的趋势，幼龄林、中龄林和成熟林的碳储量分别为62.75、139.70、165.30t·hm⁻²；幼龄林，中龄林，成熟林间的差异均达到了显著水平。在不同发育阶段，碳在各组分中的分配，基本上与各组分的生物量成正比例关系，但在不同发育阶段所占比例有所差异。在幼龄林和中龄林中各器官所占比例的序列为：干>根>叶>枝>皮>果，而成熟林则表现出皮占的比例大于枝。其中，干占相当大的比例，幼龄林中龄林成熟林所占比例分别为48.57%、60.15%和

61.75%。所以不同发育阶段间的乔木层碳储量的差异主要是由干的碳储量差异引起的。木麻黄成熟林的碳储量是165.30t·hm⁻²，分别比幼龄林和中龄林大102.55t·hm⁻²和25.61t·hm⁻²，其中成熟林的干碳储量分别比幼龄林和中龄林的大71.61t·hm⁻²和18.05t·hm⁻²，占总差异的69.82%和70.64%。木麻黄幼龄林、中龄林、成熟林林分生物量和碳储量地上地下之比分别为5.16、7.90、8.99和4.96、7.56、8.51，表现出随着林龄的增大而增大。

不同发育阶段木麻黄的土壤含碳率的差异表现为：成熟林>中龄林>幼龄林，而这种差异在各个土壤层上均有体现，随土壤层深度增加，差异变化较显著。木麻黄成熟林0~10cm土层含碳率是0.733%，分别是幼龄林和中龄林的1.26倍和1.18倍。10~25cm土层含碳率是0.51%，分别是幼龄林和中龄林的3.89倍和1.79倍，25~40cm土层含碳率是0.439%，分别是幼龄林和中龄林的5.63倍和3.05倍，40~70cm土层含碳率是0.32%，分别是幼龄林和中龄林的9.70倍和3.52倍，70~100cm土层含碳率是0.245%，分别是幼龄林和中龄林的8.17倍和2.07倍。

3.2.1.2 木麻黄林现存凋落物碳储量

由表7可知，木麻黄人工林凋落物碳储量表现为随林龄增大而增加的趋势。这说明幼龄林处于速生阶段，林分密度较大，林分凋落物较少。中龄林和成熟林林木竞争剧烈，自然整枝强烈，凋落物积累较多。幼龄林和中龄林和成熟林间差异显著。成熟林的凋落物碳储量分别是幼龄林和中龄林的2.36倍和1.17倍。

表 5 木麻黄林乔木层生物量、碳贮量及分配 (单位: $t \cdot hm^{-2}$)

组分	幼龄林		中龄林		成熟林	
	生物量	碳贮量	生物量	碳贮量	生物量	碳贮量
树干	65.50 (48.57)	30.48	169.73(60.15)	84.03	210.18(61.75)	102.08
树皮	6.68 (4.84)	3.03	25.10(8.76)	12.24	34.12(9.91)	16.39
树枝	17.18(12.82)	8.04	24.84(8.88)	12.40	26.56(7.85)	12.97
树叶	21.86(16.69)	10.47	25.01(9.04)	12.62	25.22(7.78)	12.86
果实	0.19(0.30)	0.19	4.18(1.50)	2.09	7.36(2.19)	3.63
地上和(a)	111.61 (83.22)	52.21	248.86 (88.33)	123.38	303.45 (89.48)	147.93
树根 (b)	21.65(16.78)	10.54	31.51(11.67)	16.31	33.75(10.52)	17.38
合计	133.26(100)	62.75	280.36(100)	139.70	349.24(100)	165.30
a/b	5.16	4.96	7.90	7.56	8.99	8.51

注: 括号内数字为百分数

3.2.1.3 木麻黄林土壤层碳贮量

根据木麻黄人工林土层含碳率(见表4)和容重,计算出木麻黄各土层土壤碳贮量(见表6)。土壤碳贮量和土壤含碳率一样随土层深度的增加而减少,土壤碳贮量主要集中于土壤表层。木麻黄幼龄林、中龄林、成熟林0~100cm土壤碳贮量为13.61、23.37、56.17 $t \cdot hm^{-2}$,其0~10cm土壤碳贮量分别占总碳贮量的54.00%、33.16%和16.63%。10~25cm土层碳

贮量分别占总贮量的16.8%、23.11%和19.83%,25~40cm土层碳贮量分别占总贮量的10.90%、10.87%和17.34%。0~40cm土层碳贮量分别占总贮量的81.7%、67.14%和53.8%。可见不同发育阶段间碳贮量的差异主要体现在0~40cm土层上,这是因为土壤碳贮量主要取决于其土壤含碳率,不同发育阶段木麻黄人工林的土壤含碳率差异主要表现在0~40cm土层上,而大于40cm土层的含碳率差别很小。

表 6 木麻黄人工林土壤碳贮量

土层/cm	幼龄林		中龄林		成熟林	
	容重($g \cdot cm^{-3}$)	碳贮量($t \cdot hm^{-2}$)	容重($g \cdot cm^{-3}$)	碳贮量($t \cdot hm^{-2}$)	容重($g \cdot cm^{-3}$)	碳贮量($t \cdot hm^{-2}$)
0~10	1.261±0.096	7.35±1.06	1.238±0.082	7.75±1.02	1.273±0.049	9.34±1.23
10~25	1.167±0.182	2.28±0.49	1.254±0.142	5.4±0.58	1.457±0.162	11.14±1.77
25~40	1.263±0.278	1.49±0.30	1.150±0.42	2.54±0.41	1.480±0.39	9.74±1.67
40~70	1.317±0.141	1.32±0.24	1.257±0.108	3.43±0.72	1.540±0.186	14.79±3.42
70~100	1.290±0.348	1.17±0.31	1.21±0.086	4.26±1.45	1.517±0.241	11.17±1.91
总计		13.61±0.48		23.38±0.84		56.18±2.01

3.2.2 木麻黄人工林生态系统总碳贮量及其分配

由表7可知,木麻黄幼龄林、中龄林和成熟林生态系统碳贮量分别是76.80、164.11和222.69 $t \cdot hm^{-2}$,表现出随林龄增大而增大的趋势,且两两间差异均达到了显著水平($P < 0.05$)。但不同组分碳贮量在不同发育阶段间的差异程度却有所不同。乔木层、凋落物层和土壤层碳贮量均表现出了随林龄增加而增加的趋势,且乔木层和土壤层碳贮量在幼龄林、中龄林和成熟林两两间差异均达到了显著水平。其中,木麻黄幼、中、成熟林生态系统碳贮量差异主要体现在乔木层碳贮量的差异。木麻黄成熟林生态系统碳贮量分别比幼龄林和中龄林的大145.89 $t \cdot hm^{-2}$ 和58.58 $t \cdot hm^{-2}$,其中成熟林乔木层碳贮量分别比后两者大102.55 $t \cdot hm^{-2}$ 和25.60 $t \cdot hm^{-2}$,占总差异的70.29%和43.70%。成熟林土壤层碳贮量分别比后两者大42.56 $t \cdot hm^{-2}$ 和

32.8 $t \cdot hm^{-2}$,占总差异的29.17%和55.99%。因此,在大尺度估算木麻黄人工林碳贮量时应划分不同发育阶段分别估算乔木层和土壤层碳贮量,这样才能得出准确客观的结果。

表 7 木麻黄人工林生态系统碳贮量及分配 ($t \cdot hm^{-2}$)

林分	乔木层	现存凋落物层	土壤层	总计
幼龄林 YP	62.75±0.72	0.44±0.01	13.61±0.48	76.8±1.24
中龄林 MAP	139.7±1.42	1.04±0.02	23.37±0.84	164.11±2.29
成熟林 MP	165.3±3.45	1.22±0.18	56.17±2.01	222.69±5.67

木麻黄林生态系统碳贮量中,乔木层的比重分别是81.71%、85.13%和74.23%,土壤层的比重分别是17.72%、14.24%和25.22%。森林土壤中(包括土壤、树根和死地被物层)碳贮量幼龄林、中龄林、成熟林分别占整个生态系统碳贮

量的32.02%、24.81%、33.58%，即地上部分与地下部分碳贮量之比分别为2.12:1,3.03:1,1.98:1。据Baumgarter(1978)的估计，全球森林地上部分碳贮量与地下部分碳贮量之比约为1:2。可见木麻黄林生态系统远远高于这一比值。可见，对同一发育阶段木麻黄人工林生态系统碳贮量而言，乔木层是生态系统碳贮量的主体，但土壤层碳贮量在生态系统总碳贮量中的比重在不同发育阶段都比较小，且以中龄林占的比重最小，其次是幼龄林和成熟林。而乔木层碳贮量在总碳贮量中的比重则表现为中龄林最大，幼龄林和成熟林次之，但显著大于土壤层的碳贮量。可见，在木麻黄人工林生态系统中乔木层是引起不同发育阶段间碳贮量差异的主要原因，凋落物层作为土壤—植物系统碳循环的联结库，对土壤碳贮量具有较大影响，进而对森林生态系统碳循环具有重要作用。

3.2.3 木麻黄人工林年净固碳量

森林生态系统生产力研究的主要内容之一是要确定系统

同化 CO₂ 的能力。根据各组分年净生产力与相应组分的含碳率计算出有机碳年净固碳量。由表 8 可知，木麻黄幼龄林、中龄林、成熟林的年净固碳量分别为 10.974 t·hm⁻²·a⁻¹ (折合成 CO₂ 量为 40.237 t·hm⁻²·a⁻¹)，14.889 t·hm⁻²·a⁻¹ (折合成 CO₂ 量为 54.592 t·hm⁻²·a⁻¹)，8.457 t·hm⁻²·a⁻¹ (折合成 CO₂ 量为 31.009 t·hm⁻²·a⁻¹)。其中木麻黄中龄林年净固碳量最大，分别比幼龄林和成熟林的大 3.915 t·hm⁻²·a⁻¹ 和 6.432 t·hm⁻²·a⁻¹，且与两者差异均达到了显著水平(P<0.05)。其中中龄林乔木层年净固碳量分别比幼龄林、成熟林大 2.802t·hm⁻²·a⁻¹ 和 7.434t·hm⁻²·a⁻¹，分别是幼龄林和成熟林的 1.36 倍和 1.76 倍。中龄林的固碳量大于广西中部丘陵区 14a 马尾松林有机碳年净固定量 9.08 t·hm⁻²·a⁻¹，热带山地雨林每年每公顷每年能吸收 3.818 t C^[12]。苏南地区 27 年生杉木林生态系统每公顷每年能吸收 2.36 t C。

表 8 不同发育阶段木麻黄人工林生态系统年净固定量 (单位: t·hm⁻²·a⁻¹)

	组分	幼龄林			中龄林			成熟林		
		干物质量	碳量	折合 CO ₂ 量	干物质量	碳量	折合 CO ₂ 量	干物质量	碳量	折合 CO ₂ 量
生物量净增量	干	13.841	6.440	23.614	17.458	8.643	31.69	7.218	3.506	12.854
	皮	1.940	0.881	3.232	3.491	1.702	6.241	1.568	0.753	2.760
	枝	1.662	0.778	2.852	1.199	0.599	2.195	0.435	0.213	0.780
	叶	1.178	0.564	2.069	0.679	0.343	1.257	0.234	0.119	0.438
	果	0.213	0.100	0.368	1.028	0.515	1.887	0.580	0.286	1.048
	根	2.120	1.032	3.784	1.539	0.797	2.923	0.560	0.288	1.057
	小计	20.954	9.796	35.919	25.395	12.599	46.195	10.595	5.165	18.937
凋落物生产量	枝	0.068	0.033	0.121	0.479	0.236	0.864	1.068	0.514	1.883
	叶	2.223	1.110	4.071	3.886	1.963	7.196	5.403	2.739	10.042
	果	0.119	0.057	0.210	0.274	0.132	0.486	0.220	0.107	0.394
	小计	2.411	1.178	4.318	4.639	2.290	8.397	6.691	3.292	12.072
合计		23.265	10.974	40.237	30.034	14.889	54.592	12.286	8.457	31.009

可见木麻黄人工林同化 CO₂ 的能力很大，尽管相对幼龄林和中龄林而言，成熟林同化 CO₂ 的能力稍有减弱；成熟林、幼龄林、中龄林乔木层固定量分别占总固定量的 89.27%、84.62% 和 61.07%。可见，不同发育阶段间年净固碳量差异主要是由乔木层年净固碳量差异引起的，中龄林乔木层固碳量最大，其次是幼龄林和成熟林，而凋落物固定量为：成熟林>中龄林>幼龄林。成熟林凋落物年固碳量分别是幼龄林、中龄林的 1.44 倍和 2.78 倍，存在显著差异；乔木层年净固碳量在林分总年净固碳量中的比重以中龄林最大(89.27%)，幼龄林次之(84.62%)，成熟林最小(61.07%)，凋落物层则表现出了相反的趋势。不同发育阶段乔木层各器官中以干的年净

固碳量最大，其他各器官表现出不同规律；果则表现出成熟林大于幼龄林的趋势。可见不同发育阶段不同器官的固碳能力有所不同，干是乔木层年净固碳量的主体，而凋落物层则以叶和枝的年固定量最大，是凋落物层年净固碳量的主体。

4 结论

研究发现，乔木层各器官(叶、枝、干、皮、果实和根)、凋落物层、和土壤层(0~100cm)含碳率在不同发育阶段和不同林分类型间存在显著差异。乔木层不同器官含碳率亦存在差异，且各器官含碳率大小因发育阶段不同而有所不同；土壤层含碳率在垂直方向上表现为随土层深度的增加而降低，不同土层含碳率差异达显著水平(p<0.05),(下转第 10 页)

含的营养物质)、结构和功能的影响;其次,还受光照强度、日照长度及土壤类型和植物年龄影响^[14]。器官的发育阶段同样会对热值高低产生影响,林益明等^[2]通过对深圳福田几种红树植物繁殖体与不同发育阶段叶片的热值研究后认为,成熟叶的生命活动最旺盛,光合能力最强,光合作用积累的有机物最多,而老叶则处于衰退之中,故成熟叶的干重热值高于老叶。与前人的研究结果不同,本研究中,有的林分类型热值成熟叶与老叶差别不显著,有的老叶高于成熟叶。

参考文献

- [1] 鲍雅静,李政海,韩兴国,等.植物热值及其生物生态学属性[J].生态学杂志,2006,25(9):1095-1103.
- [2] 林益明,向平,林鹏.深圳福田几种红树植物繁殖体与不同发育阶段叶片热值研究[J].海洋科学,2004,28(2):43-48.
- [3] 官丽莉,周小勇,罗艳.我国植物热值研究综述[J].生态学杂志,2005,24(4):452-457.
- [4] 叶功富,谭芳林,徐俊森,等.木麻黄基干林带防风效应及其与林带结构关系的研究[J].防护林科技,2000(专):103-107.
- [5] 张清海,叶功富,林益明.海岸退化沙地木麻黄人工林能量的研究[J].林业科学,2006,42(8):1-7.

(上接第7页)且相邻土层不同发育阶段以0~10cm和10~25cm的差异最为显著,同一土层的含碳率表现出随林龄的增大而增大的趋势,而且随着土层加深差异逐渐减少,到100cm时差异基本消除。

不同发育阶段木麻黄人工林年净固碳量差异主要体现在乔木层年净固碳量的差异,不同发育阶段的年的凋落物年固碳量亦存在显著差别,但由于凋落物年固碳量基数较小,故在不同发育阶段人工林年净固碳量差异中占的比重小于乔木层。

参考文献

- [1] 徐德应,刘世荣.温室效应、全球变暖与林业[J].世界林业研究,1992,5(1):25-32.
- [2] 方晰,田大伦,项文化.速生阶段杉木人工林碳素密度、贮量和分布[J].林业科学,2002,38(3):14~19.
- [3] 田大伦,方晰.湖南会同杉木人工林生态系统的碳素含量[J].中南林学院学报,2004,24(2):1~5.

- [6] Jordan C F. Productivity of a tropical forest and its relation to a world pattern of energy storage [J]. Journal of Ecology, 1971, 59: 127-14.
- [7] 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.
- [8] 张清海,叶功富,林益明,等.福建东山县赤山滨海沙地厚荚相思林与湿地松林生物量和能量的研究[J].厦门大学学报(自然科学版),2005,44(1):123-127.
- [9] 孙国夫,郑志明,王兆骞.水稻热值的动态变化研究[J].生态学杂志,1993,12(1):1-4.
- [10] 杨京平,Wekesa Boniface,姜宁,等.不同氮素水平下气象因子对两种水稻热值影响的分析[J].中国水稻科学,2001,15(3):233-236.
- [11] Long F L. Application of calorimetric methods to ecological research [J]. Plant physiology, 1934, 9(2): 323-327.
- [12] Neitzke M. Changes in energy fixation and efficiency of energy capture in above-ground biomass along an environmental gradient in calcareous grasslands [J]. Flora, 2002, 197: 103-117.
- [13] 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.
- [14] 林益明,林鹏,李振基,等.福建武夷山甜槠林群落能量的研究[J].植物学报,1996,38(12):989-994.
- [15] 林鹏,林光辉.几种红树植物的热值和灰分含量研究[J].植物生态学与地植物学学报,1991,15(2):114-120.

- [4] 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)21~26.
- [5] 方精云,陈安平.中国森林植被碳库的动态变化及意义[J].植物学报,2001,43(9):967-973.
- [6] 刘国华,傅伯杰,方精云.中国森林碳库动态及其对全球碳平衡的贡献[J].生态学报,2000,20(5):733-740.
- [7] 赵敏,周广胜.中国森林生态系统的植物碳储量及影响因子分析[J].地理科学,2004,24(1):51-55.
- [8] 叶功富,林银森,吴寿德,等.1996a.木麻黄林生产力动态变化的研究[J].防护林科技,(专刊):17-20.
- [9] 叶功富,张水松,黄传英,等.木麻黄人工林地持续利用问题的探讨[J].林业科技开发,1994,8(4):18-19.
- [10] 陈金耀.天然杉木混交林及主要伴生树种凋落物动态变化[J].福建林学院学报,1998,18(3):255-259.
- [11] 阮宏华,姜志林,苏高铭.苏南丘陵主要森林类型的碳循环研究,含量与分布规律[J].生态学杂志,1997,16(6):17~21.
- [12] 李意德,吴仲民,曾庆波,等.尖峰岭热带山地雨林生态系统碳平衡的初步研究[J].生态学报,1998,18(4):371~378.