

基于森林资源清查资料的森林植被净生产量及其动态变化研究

王 斌, 刘某承, 张 彪

(中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100088)

摘要:根据我国不同森林类型共1 266个样地的生物量、生产力和蓄积量资料, 建立中国主要森林类型生物量与蓄积量、生物量与群落生长量和年凋落量之间的函数关系, 并利用 1973 - 2003 年间中国 6 次森林资源清查资料, 研究中国森林植被净生产量及其动态变化。研究结果表明: 1999 - 2003 年间中国森林植被净生产量为 $1\,360.64 \times 10^6$ t/a, 平均生产力为 9.53 t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$), 植被净生产量构成以幼龄林和中龄林为主且存在较大的区域差异, 东北和西南地区植被净生产量较高; 其它地区植被净生产量相对较小。近 30 年中国森林植被净生产量由第一次森林资源清查时的 790.13×10^6 t/a 增加到 1999 - 2003 年间的 $1\,360.64 \times 10^6$ t/a, 20 世纪 70 年代末期, 中国森林植被净生产量较低, 之后开始逐步增加; 中国森林植被平均生产力的变化与净生长量的变化不同, 20 世纪 70 年代末期, 中国森林植被平均生产力较高, 而后开始下降, 直到 90 年代末之后才开始恢复增长。

关键词:森林植被; 净生产量; 动态变化

中图分类号: S718.55⁺7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002 - 6622(2009)01 - 0035 - 09

Dynamics of Net Production of Chinese Forest Vegetation Based on Forest Inventory Data

WANG Bin, LIU Moucheng, ZHANG Biao

(Institute of Geographical Science and Natural Resources, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: According to the net primary productivity data of 1 266 samples about different forest types in China, the functional relationship between biomass, volume, community growth and annual litter fall about Chinese major forest types were established and the net production and dynamic changes about Chinese forest ecosystems were studied by using the data from six NFIs of China from 1973 to 2003. The results showed that the net production of Chinese forest vegetation was $1\,360.64 \times 10^6$ t/a during the 6th NFI, and the average net primary productivity was 9.53 t/ $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$. The net production was composed mainly of young and middle - age forests and had some differences between different regions with the net production higher in northeast and southwest, and lower in other regions. From 1973 to 2003, the net production of Chinese forest vegetation increased from 790.13×10^6 t/a to $1\,360.64 \times 10^6$ t/a. The net production was the lowest before 1970s and then increased gradually. Whereas the average net primary productivity of Chinese forest vegetation was higher before 1970s and decreased until the end of 1990s and then increased again.

Key words: forest vegetation, net production, dynamic change

收稿日期: 2008 - 11 - 10; 修回日期: 2009 - 01 - 16

基金项目: 国家生态系统观测研究台站网络建设项目 (sy066j0220)

作者简介: 王斌(1978 -), 男, 湖北石首人, 博士, 主要从事生态系统评估研究。

森林生态系统是维持生物圈和地圈动态平衡的重要的陆地生态系统类型,同时又是陆地生态系统最主要的生产者^[1],它不仅在全球物质与能量循环中起着重要作用,而且在调节全球碳平衡、维护全球气候稳定等方面具有不可替代的作用^[2]。生物生产力研究是判断生态系统是大气中 CO₂ 的源和汇的重要标志^[3],也是全球变化对生态系统的影响、响应和对策研究的一个重要方面。自国际生物圈计划 (IBP) 以及国际地圈生物圈计划 (IGBP) 开展以来,关于区域和全球的生产力格局及其模拟研究已有较多报道,由于采用的方法不同,估算的结果存在较大差异^[4],因此,降低生物生产力估算结果的不确定性,提高估算结果的精度,^[2]对生物生产力研究而言具有重要的现实意义。

目前区域或全球尺度的生物生产力研究,以气候模型和遥感模型为主,统计模型应用相对较少。丰富的森林资源清查资料是了解各类森林材积准确信息的重要途径,如果能将 these 资源用于估算森林植被的生物量和生产力及其动态变化,不仅对于科学地指导森林的经营管理,而且对于全球变化的研究,特别是区域尺度的生产力模型验证,都具有重要意义^[5]。李文华^[6]最早提出了利用我国森林资源清查资料编制全国森林生物产量分布图的设想;方精云^[7]利用全国各地的生物生产力研究资料,建立了我国各类森林植被生产力与生物量之间的函数关系,并估算了我国森林植被的净生产量。王玉辉^[5]根据我国落叶松 (*Larix*) 林生物量和材积的实际调查资料,探讨了基于森林资源清查资料 (森林材积 V 和林龄 A) 估算森林生物量和生产力的方法。方精云基于森林资源清查资料估算生物生产力的这一方法为研究区域或全球尺度森林植被的生产力提供了一种新的途径,本文在这些已有研究的基础上,利用罗天祥^[1]博士论文中搜集的中国不同森林类型的样地资料,建立中国不同森林植被类型生物量与蓄积量、生物量与群落生长量和年凋落量之间的函数关系,并基于 1973 - 2003 年间中国 6 次森林资源清查资料,对近 30 年来中国森林植被的净生产量及其动态变化进行了初步的分析与评价。

1 研究资料与方法

1.1 研究资料

共包括 3 部分数据资料:1) 1973 - 2003 年间的森林资源清查资料,这些资料记录了各省市不同森林类型的面积、龄组和蓄积信息;2) 罗天祥^[1]博士论文中收集的中国不同森林类型共 1 266 个样地资料,这些资料包括了各个样地的蓄积、生物量、生产力和林分年龄等信息。其植被净第一性生产力 (NPP) 由以下 3 个部分构成: 乔木层茎、枝、根年净增长量。按不同地区和树种相应的材积生长率模型计算林木近期年龄阶段 (3 ~ 5 年) 材积生长率,分别乘上相应的茎、枝、根生物量即得茎、枝、根的年净增长量,不同数据年净增长量合计得到全林的茎、枝、根年净增长量; 叶年净增长量。以不同树种的叶生物量除以叶子宿存年龄得到树种叶年净增长量,不同树种合计得到全林叶年净增长量; 灌木草本层年净增长量。根据灌木和草本植物生物量与乔木生物量的关系间接推算测树样地的灌草生物量,并以灌木和草本的平均年龄估算灌草植物的平均净第一性生产力。3) 补充搜集的 83 个不同森林类型年凋落量样地资料 (文献过多,未列出)。

1.2 研究方法

1.2.1 生物量估算

国家或区域尺度森林生物量的推算大多使用森林资源清查资料,由该资料推算森林生物量,首先要建立生物量与木材蓄积量之间的换算关系,即生物量换算因子 (Biomass Expansion Factor, BEF), 通常认为蓄积与生物量之间存在线性相关关系^[7], 因此生物量换算因子 BEF 可表示为:

$$BEF = \frac{B}{V} = a + \frac{b}{V} \quad (1)$$

但王玉辉^[5]通过对落叶松林的研究认为,蓄积与生物量之间的相关关系表现为双曲线变化,其生物量换算因子 BEF 可表示为:

$$BEF = \frac{B}{V} = \frac{1}{a + bV} \quad (2)$$

式中: B 为单位面积生物量; V 为单位面积蓄积。(2) 式与 (1) 式的不同之处在于将林分任一生长阶段的生物量随蓄积的变化由线性变化变为双曲线

变化。本文基于罗天祥的样地数据分别按公式(1)和公式(2)建立蓄积与生物量之间的函数关系,通过比较发现,两种函数关系都显著相关,说明公式(2)对于其它森林类型也是适用的,并且公式(2)的相关性要稍好于公式(1)。

本文在此依据公式(2)建立我国不同森林类型蓄积与生物量之间的函数关系,用于计算不同森林类型单位面积生物量。

1.2.2 生产力估算

植被净第一性生产力由 3 个部分组成:即群落生长量(Y)、年凋落量(L)和被食量(G)^[3]。由于不同森林类型被食量数据不易获得且所占比重不大,本文在此忽略不计。因此,生产力估算主要是对群落生长量和枯死凋落量的估算。

王玉辉^[5]和 Min Zhao^[8]的研究表明,植被净第一性生产力和生物量净增量关系密切,呈双曲线关系:

$$NPP = \frac{ABI}{c + dABI} \quad (3)$$

ABI 是一定时间内生物量的净增量。由于生物量净增量数据不易获得,可用年均生物量代替,因此,计算 NPP 的公式可表示为:

$$NPP = \frac{B}{cA + dB} \quad (4)$$

其中: B 为单位面积生物量; A 为林分年龄; c 、 d 为对应森林类型常数。

该方程建立了植被净第一性生产力和生物量之间的联系,不足之处在于没有充分考虑年凋落量估算的不同之处。一般来说,森林年凋落量随生物量的增加而增加,但这种增加并不是线性的,当生物量较小(幼林龄)时,年凋落量也较小,当生物量较大(成树林)时,年凋落量趋于一个稳定值^[9],森林年凋落量与生物量之间的关系可表示为:

$$L = \frac{1}{e/B + f} \quad (5)$$

其中: L 为单位面积年凋落量; B 为单位面积生物量; e 、 f 为对应森林类型常数。

罗天祥的样地资料中没有年凋落量数据,但可以通过叶的年净增长量推算森林年凋落量。叶生物量除以叶寿命近似于叶的年凋落量,该值常用来表

示叶的年净增长量,用以降低因凋落量缺测引起的植被净第一性生产力低估。本文在此将罗天祥样地数据中的叶年净增长量视为森林年凋落量的一部分,根据本文收集的 83 个不同森林类型年凋落量样地资料显示,叶凋落量与总凋落量之间呈线性关系(见图 1, $R^2 = 0.8588$, $P < 0.001$),基于该方程,本文对罗天祥博士论文中的年凋落量数据进行了计算。

基于公式(4)和公式(5),结合罗天祥的样地数据,可以考虑分两个部分来估算森林植被的植被净第一性生产力,一是用群落生长量(乔木层茎、枝、根年净增长量和灌木草本层年净增长量之和)代替植被净第一性生产力,依据公式(4)建立群落生长量与生物量之间的函数关系,用以估算区域尺度不同森林类型的群落生长量;二是根据叶的年净增长量推算森林年凋落量,依据公式(5)建立年凋落量与生物量之间的函数关系,用以估算区域尺度不同森林类型的年凋落量。两者之和即为总的植被净第一性生产力。

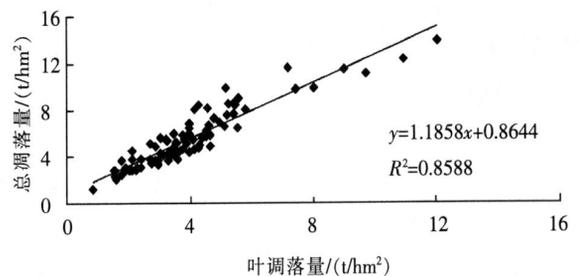


图 1 叶凋落量与总凋落量关系

根据公式(4)和公式(5)以及森林资源清查资料,计算我国不同森林类型净生产量和平均生产力的公式可表示为:

$$\overline{B}_{ij} = \frac{\overline{V}_{ij}}{a + bV_{ij}} \quad (6)$$

$$NPP_i = \sum_{j=1}^{30} \sum_{i=1}^{16} S_{ij} \left(\frac{\overline{B}_{ij}}{cA_{ij} + dB_{ij}} + \frac{\overline{B}_{ij}}{e + fB_{ij}} \right) \quad (7)$$

$$NPP_{j-ave} = \frac{1}{G_j} \sum_{i=1}^{30} S_{ij} \left(\frac{\overline{B}_{ij}}{cA_{ij} + dB_{ij}} + \frac{\overline{B}_{ij}}{e + fB_{ij}} \right) \quad (8)$$

其中: \overline{V}_{ij} 、 \overline{B}_{ij} 、 S_{ij} 和 A_{ij} 分别为森林类型 j ($j =$

$1, 2, \dots, 16$) 在第 i ($i = 1, 2, \dots, 30$) 省份 (不包括台湾) 的单位面积蓄积、单位面积生物量、面积和林分年龄; NPP_i 为总 NPP ; a, b, c, d, e, f 为对应森林类型常数。 NPP_{j-ave} 为森林类型 j 的平均 NPP ; G_j 为森林类型 j 的总面积。

由于计算中国森林生态系统生产力时,主要是利用森林资源清查资料,而该资料只有各优势树种的龄级组成,没有具体的数据,因此,按照我国林业对森林不同树种龄级的划分标准,取平均值表示不同森林类型的林分年龄(表 1)。

表 1 不同森林类型各龄级平均年龄

树种	地区	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林	龄级
红松、云杉、柏木、	北方	30	80	110	140	170	20
紫杉、铁杉	南方	20	50	70	95	130	20
落叶松、冷杉、樟子松、	北方	20	60	90	120	150	20
赤松、黑松	南方	20	50	70	95	130	20
油松、马尾松、云南松、	北方	15	40	55	70	85	10
思茅松、华山松、高山松	南方	10	25	35	50	65	10
杨、柳、桉、泡桐、木麻黄、	北方	5	12.5	17.5	25	32.5	5
椴、栎、枫杨、相思、软阔	南方	2.5	7.5	12.5	20	27.5	5
桦、榆、木荷、枫香、珙桐	北方	15	40	55	70	85	10
	南方	10	30	45	60	75	10
栎、柞、槲、栲、樟、楠、椴、水、胡、黄、硬阔	南北	20	50	70	100	130	20
杉木、柳杉、水杉	南方	5	15	22.5	30	37.5	5

2 结果与分析

2.1 蓄积和生物量之间的函数关系

表 2 列出了 16 种森林类型蓄积和生物量之间的函数关系,其中高山栎林和樟子松林 P 值小于 0.05,其余各树种 P 值小于 0.001,相关系数 (r) 均

大于 0.85,蓄积和生物量之间的函数关系显著,可以用来根据蓄积估算中国森林植被的生物量。从平均 BEF 可以看出,阔叶林与针叶林的 BEF 有较明显的区别,阔叶林的 $BEF > 0.85$,针叶林的 $BEF < 0.85$,阔叶林单位蓄积的生物量要高于针叶林。

表 2 中国森林植被蓄积 - 生物量方程

森林类型	平均 BEF	蓄积 - 生物量方程	n	R	说明
柏木林	0.6896	$B = V / (1.0202 + 0.0022 V)$	10	0.9605 ^a	含油杉
华山松林	0.6831	$B = V / (1.2390 + 0.0013 V)$	43	0.9546 ^a	含台湾松、高山松
杨桦林	0.9679	$B = V / (0.8115 + 0.0019 V)$	119	0.9501 ^a	
阔叶混交林	1.1681	$B = V / (0.5788 + 0.0020 V)$	13	0.9201 ^a	亚热带常绿落叶阔叶混交林
高山栎林	0.8528	$B = V / (0.7823 + 0.0014 V)$	8	0.9111 ^b	主要指西南地区的高山栎林
落叶松林	0.7118	$B = V / (1.1111 + 0.0016 V)$	39	0.9571 ^a	
马尾松林	0.6739	$B = V / (1.4254 + 0.0004 V)$	46	0.9587 ^a	
其它暖性松林	0.7700	$B = V / (1.3624 - 0.0003 V)$	41	0.9951 ^a	云南松、思茅松、乔松等
热带林	1.2988	$B = V / (0.6809 + 0.0006 V)$	8	0.9972 ^a	含桉树、木麻黄
杉木林	0.5913	$B = V / (1.2917 + 0.0022 V)$	70	0.9541 ^a	含柳杉、水杉
油松林	0.8304	$B = V / (1.0529 + 0.0020 V)$	147	0.9679 ^a	含赤松、黑松、侧柏
云冷杉林	0.5388	$B = V / (1.3667 + 0.0012 V)$	154	0.9228 ^a	含铁杉
樟子松林	0.4858	$B = V / (1.2544 + 0.0030 V)$	7	0.9129 ^b	
针阔混交林	0.5641	$B = V / (1.1731 + 0.0018 V)$	13	0.9686 ^a	含红松林
常绿阔叶林	1.1435	$B = V / (0.7883 + 0.0026 V)$	222	0.8567 ^a	亚热带硬阔、软阔、杂木与阔叶林
落叶阔叶林	0.9724	$B = V / (0.6539 + 0.0038 V)$	59	0.9335 ^a	栎类、硬阔、椴树、杂木和水胡黄

注:^a $P < 0.001$; ^b $P < 0.05$

2.2 生物量与群落生长量和年凋落量之间的函数关系

表 3 列出了 16 种森林类型生物量与群落生长量和凋落量之间的函数关系,在根据生物量推算群落生长量的函数关系中,热带林 P 值小于 0.1,其余各树种 P 值小于 0.001;在根据生物量推算凋落量

的函数关系中,柏木、高山栎林和热带林的 P 值小于 0.05,其余各树种 P 值小于 0.001。西南地区的云冷杉林、樟子松林和针阔混交林年凋落量与生物量关系不显著,在此取平均值。总的来说,生物量与群落生长量和凋落量之间的函数关系比较显著,可以用来估算中国森林植被的净第一性生产力。

表 3 中国森林植被生物量与群落生长量和年凋落量之间函数关系

森林类型	群落生长量	n	r	年凋落量	n	r
柏木林	$P = B / (0.1132A + 0.0745B)$	10	0.9018 ^a	$L = B / (9.8381 + 0.1337B)$	10	0.7508 ^b
华山松林	$P = B / (0.3840A + 0.0104B)$	43	0.9475 ^a	$L = B / (7.5272 + 0.1102B)$	43	0.7469 ^a
杨桦林	$P = B / (0.3080A + 0.0138B)$	119	0.9429 ^a	$L = B / (16.722 + 0.0324B)$	119	0.9236 ^a
阔叶混交林	$P = B / (0.3018A + 0.0331B)$	13	0.8219 ^a	$L = B / (9.1028 + 0.0575B)$	13	0.8746 ^a
高山栎林	$P = B / (0.2989A + 0.0117B)$	8	0.9469 ^a	$L = B / (34.845 + 0.0283B)$	8	0.9003 ^b
落叶松林	$P = B / (0.1885A + 0.0728B)$	39	0.7980 ^a	$L = B / (16.734 + 0.0577B)$	39	0.9267 ^a
马尾松林	$P = B / (0.4046A + 0.0098B)$	46	0.9674 ^a	$L = B / (15.451 + 0.0225B)$	46	0.9319 ^a
其它暖性松林	$P = B / (0.2423A + 0.0581B)$	41	0.9475 ^a	$L = B / (18.905 + 0.0422B)$	41	0.9847 ^a
热带林	$P = B / (0.1797A + 0.0344B)$	8	0.6499 ^c	$L = B / (8.0976 + 0.0540B)$	8	0.8118 ^b
杉木林	$P = B / (0.4598A + 0.0069B)$	70	0.9691 ^a	$L = B / (10.132 + 0.0874B)$	48	0.7783 ^a
杉木林(仅贵州地区)	$P = B / (0.4598A + 0.0069B)$	70	0.9691 ^a	$L = B / (8.7239 + 0.0418B)$	22	0.9618 ^a
油松林	$P = B / (0.3520A + 0.0161B)$	147	0.9760 ^a	$L = B / (11.177 + 0.1501B)$	147	0.8689 ^a
云冷杉林	$P = B / (0.2267A + 0.0526B)$	154	0.8482 ^a	$L = B / (27.204 + 0.0812B)$	35	0.9580 ^a
云冷杉林(仅西南地区)	$P = B / (0.2267A + 0.0526B)$	154	0.8482 ^a	$L = 3.34 \pm 0.9277$	119	
樟子松林	$P = B / (0.1405A + 0.1203B)$	7	0.9740 ^a	$L = 4.2 \pm 0.3538$	7	
针阔混交林	$P = B / (0.1038A + 0.0761B)$	13	0.9087 ^a	$L = 3.46 \pm 0.9597$	13	
常绿阔叶林	$P = B / (0.2503A + 0.0226B)$	222	0.8885 ^a	$L = B / (20.507 + 0.0383B)$	222	0.9104 ^a
落叶阔叶林	$P = B / (0.2393A + 0.0495B)$	59	0.9565 ^a	$L = B / (18.246 + 0.0366B)$	59	0.8627 ^a

注:^a $P < 0.001$; ^b $P < 0.05$; ^c $P < 0.1$

2.3 中国不同龄级森林植被的净生产量和平均生产力

根据 1999 - 2003 年间森林资源清查资料以及不同森林类型生物量与群落生长量和年凋落量之间

的函数关系,计算中国不同龄级森林植被的净生产量以及不同森林类型的平均生产力,结果如表 4 和表 5 所示。

表 4 中国不同龄级森林植被的净生产量

龄级	面积/万 hm^2	群落生长量/ (Mt/a)		年凋落量/ (Mt/a)		净生产量/ (Mt/a)	比例/ %
		总量	比例 %	总量	比例 %		
幼龄林	4722.48	328.02	79.97	82.17	20.03	410.19	30.15
中龄林	4964.05	291.14	63.57	166.82	36.43	457.96	33.66
近熟林	1998.03	123.57	57.64	90.80	42.36	214.37	15.76
成熟林	1714.79	100.31	54.13	85.01	45.87	185.32	13.62
过熟林	876.99	49.23	53.05	43.57	46.95	92.80	6.82
合计	14276.34	892.27	65.58	468.36	34.42	1360.64	100.00

中国森林植被净生产量为 $1\,360.64 \times 10^6 \text{ t/a}$, 其中群落生长量为 $892.27 \times 10^6 \text{ t}$, 占总量的 66.58%, 年凋落量为 $468.36 \times 10^6 \text{ t/a}$, 占总量的 34.42%。从净生产量的龄级分布来看, 幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林和过熟林分别占总量的 30.15%、33.66%、

15.76%、13.62% 和 6.82%, 森林植被净生产量构成以幼龄林和中龄林为主。从不同龄级群落生长量和年凋落量占对应龄级净生产量的比例来看, 随着龄级的增加, 群落生长量占净生产量的比重逐渐降低, 而年凋落量占净生产量的比重则逐渐增加。

表 5 中国不同森林类型的平均生产力

森林类型	面积/ 万 hm^2	群落生长量/ (Mt/a)	年凋落量/ (Mt/a)	净生产量/ (Mt/a)	平均 NPP/ ($\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$)
油松林	263.72	6.46	4.77	11.24	4.26
马尾松林	1739.20	52.30	28.64	80.94	4.65
柏木林	346.71	16.10	7.87	23.97	6.91
落叶松林	1049.39	43.90	33.74	77.65	7.40
樟子松林	69.40	2.75	2.91	5.66	8.16
云冷杉林	800.24	40.81	25.84	66.65	8.33
杉木林	1412.88	81.66	38.28	119.94	8.49
其它暖性松林	702.62	42.47	21.65	64.12	9.13
针叶小计	6384.16	286.46	163.70	450.16	7.05
针阔混交	468.30	28.40	16.20	44.61	9.52
落叶阔叶林	1765.42	84.41	52.56	136.96	7.76
高山栎林	477.56	30.50	12.94	43.44	9.10
华山松林	258.85	16.89	12.67	29.56	11.42
常绿阔叶林	1738.30	159.63	47.75	207.38	11.93
杨桦林林	1843.27	161.34	67.15	228.49	12.40
阔叶混交林	1247.77	110.51	92.15	202.66	16.24
热带林林	95.04	14.14	3.24	17.38	18.29
阔叶小计	7426.21	577.41	288.46	865.87	11.66
合计	14278.67	892.27	468.36	1360.64	9.53

中国森林植被平均生产力差异较大, 其中热带林平均生产力最高 ($18.29 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$), 油松林平均生产力最低 ($4.26 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$)。中国阔叶林、针阔混交林和针叶林的平均生产力分别为 $11.66 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, $9.52 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 和 $7.05 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 均低于世界平均水平 $15 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, $13 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 以及 $8.5 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ [31]。

2.4 中国各省市森林植被的净生产量和平均生产力

根据 1999 - 2003 年间森林资源清查资料结果, 分省区计算中国森林植被净生产量及其平均生产力, 结果如表 6 所示。

中国森林植被净生产量在各省市间的分布不均衡, 从各省市构成来看, 黑龙江植被净生产量最大, 占全国的 13.19%; 其次为云南和内蒙古, 分别占全国的 11.42% 和 10.35%。各省市的平均生产力差异也较大, 江苏的平均生产力最高, 其次是海南和山东。江苏和山东是我国杨树重要的种植基地, 因

此有着较高的植被生产力; 海南地处我国热带地区, 丰富的水热资源为林木生长提供了良好的自然条件。

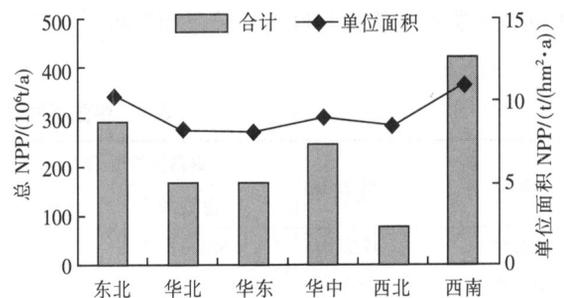


图 2 不同区域森林植被的净生产量及其平均生产力

图 2 为森林植被净生产量与平均生产力的区域分布格局, 西南和东北地区森林资源较多, 植被净生产量较高; 而辽阔的西北地区以及人口稠密经济发达

的华北、华东地区,森林资源分布较少,植被净生产量相对较小。植被平均生产力以西南和东北地区较高,其它地区则没有明显的差异,这与根据气候模拟的中国森林植被生产力由东南向西北递减的分布格局不同^[3]。由于我国东部暖温带和亚热带、热带地区的天然次生林和人工林长期以来受人干扰和森林经营

活动影响,因此从模拟气候生产力所反映的森林生产潜力与我国现实的森林生产力尚有出入^[3]。

2.5 中国森林植被生产力的动态变化

根据 1973 - 2003 年间六次森林资源清查资料结果,计算中国不同时期森林植被净生产量及其平均生产力,结果如表 7 所示。

表 6 中国各省市森林植被的净生产量及其平均生产力

地区	面积/万 hm ²	群落生长量/(Mt/a)	年凋落量/(Mt/a)	净生产量/(Mt/a)	平均 NPP/(t/(hm ² ·a))
黑龙江	1792.18	107.41	72.00	179.41	10.01
吉林	711.56	49.10	37.83	86.93	12.22
辽宁	322.57	15.53	10.37	25.90	8.03
东北小计	2826.31	172.04	120.20	292.24	10.34
北京	23.44	1.41	0.48	1.88	8.04
河北	206.53	9.49	3.67	13.16	6.37
内蒙古	1608.23	88.85	52.00	140.85	8.76
山西	160.49	5.99	3.30	9.29	5.79
天津	4.57	0.21	0.08	0.29	6.43
华北小计	2003.26	105.95	59.53	165.47	8.26
安徽	245.50	15.69	5.17	20.87	8.50
福建	563.85	37.49	18.11	55.60	9.86
江苏	44.35	6.99	1.21	8.20	18.50
江西	727.83	35.70	15.32	51.01	7.01
山东	83.04	10.08	1.85	11.93	14.37
上海	0.60	0.05	0.02	0.06	10.37
浙江	361.53	10.82	5.60	16.42	4.54
华东小计	2026.70	116.82	47.28	164.09	8.10
广东	660.55	50.36	16.03	66.39	10.05
广西	747.48	51.92	16.52	68.44	9.16
海南	89.20	10.24	4.96	15.20	17.05
河南	197.72	16.62	5.49	22.11	11.18
湖北	415.96	22.82	8.90	31.73	7.63
湖南	609.09	26.23	13.38	39.61	6.50
华中小计	2720.00	178.19	65.28	243.48	8.95
甘肃	192.14	10.99	6.83	17.82	9.27
宁夏	9.21	0.68	0.20	0.88	9.53
青海	34.19	2.06	1.17	3.23	9.45
陕西	508.55	21.03	15.15	36.18	7.11
新疆	156.16	11.50	6.81	18.31	11.73
西北小计	900.25	46.26	30.16	76.42	8.49
贵州	344.25	25.60	8.54	34.15	9.92
四川	1103.63	68.13	35.43	103.56	9.38
西藏	844.50	63.59	50.10	113.69	13.46
云南	1356.58	107.19	48.24	155.42	11.46
重庆	153.19	8.49	3.60	12.09	7.89
西南小计	3802.15	273.00	145.91	418.91	11.02

表 7 1973 - 2003 年间中国森林植被净生产量和平均生产力

年限	面积/ 万 hm^2	净生产量/ (Mt/a)	净生产量变化/ (Mt/a)	平均生产力/ ($\text{t}/(\text{hm}^2 \text{ a})$)
1973 - 1976	10821.62	790.13		7.30
1977 - 1981	9562.17	849.32	59.19	8.88
1984 - 1988	10218.70	910.41	61.08	8.91
1989 - 1993	10863.82	953.59	43.18	8.78
1994 - 1998	12919.95	1096.86	143.27	8.49
1999 - 2003	14278.67	1360.64	263.78	9.53

中国森林植被净生产量由第一次森林资源清查时的 $790.13 \times 10^6 \text{t}$ 增加到 1999—2003 年间的 $1360.64 \times 10^6 \text{t}$, 增加了 72%, 年均增加 $43.18 \sim 263.78 \times 10^6 \text{t/a}$ 不等, 其中 1994—2003 年间中国森林植被净生产量增幅较大。由于第六次全国森林资源清查的森林包括国家特别规定的灌木林, 这将使得 1999 - 2003 计算结果相对偏高。1973 - 2003 年间中国森林植被平均生产力的变化与净生长量的变化不同, 20 世纪 50 年代初期到 70 年代末期的森林采伐, 使得中国成过熟林消耗量激增, 生态系统龄级构成发生变化, 平均生产力增加, 之后国家开始重视生态建设, 森林开始恢复, 植被的平均生产力逐步降低。20 世纪 90 年代末期, 由于六大林业重点工程启动, 大量退耕还林、植树造林的林地出现, 森林的平均生产力又有了较大增加, 1999—2003 年间达到 $9.53 \text{ t}/(\text{hm}^2 \text{ a})$ 。

从中国森林植被生物量和生产力的动态变化可以看出, 虽然我国森林资源曾遭受巨大破坏, 但第六次森林资源清查结果与第一次相比, 无论是生物量还是生产力都提高了很多, 这与我国积极开展的植树造林活动是密不可分的。由于坚持开展人工造林, 中国的森林面积、蓄积量和覆盖率持续增长, 人工造林保存面积已居世界首位, 保存面积已达 $4600 \times 10^4 \text{hm}^2$, 约占世界人工林面积的 1/3。

3 结论与讨论

1) 区域尺度森林植被净第一性生产力的估算一直是人们研究的热点, 本文在已有研究的基础上, 提出分群落生长量和年凋落量两个部分估算森林植被的净第一性生产力, 并根据我国不同森林类型共 1266 个样地的生物量、生产力和蓄积量资料, 建立

了中国主要森林类型生物量与蓄积量、生物量与群落生长量和年凋落量之间的函数关系, 同时利用 1973—2003 年间中国 6 次森林资源清查资料, 研究了中国森林植被净生产量及其动态变化。根据第六次森林资源清查资料计算结果, 中国森林面积和植被净生产量分别占全球 ($31.3 \times 10^8 \text{hm}^2$ 和 $48.68 \times 10^9 \text{t/a}$) 的 4.45% 和 3.06%^[10], 其平均生产力只相当全球平均生产力的 67%, 这主要是因为我国热带雨林的面积很小, 而全球热带雨林的净初级生产力很高, 占全球森林总生产力的 66% 以上^[9]。

2) 关于中国森林植被净生产量的研究报道很多, 方精云^[7]根据第三次森林资源清查资料计算中国森林植被的净生产量为 $1004.61 \times 10^6 \text{t/a}$, 高出本文研究结果 ($910.41 \times 10^6 \text{t/a}$) 约 10%。陈利军^[12]在遥感和地理信息系统技术支持下, 以 1990 年遥感影像为数据源, 对中国陆地植被净生产量进行估算, 得出 1990 年我国针叶林和阔叶林净生产量为 $1485.54 \times 10^6 \text{t/a}$, 大大高于本文同期研究结论。从中可以看出, 由于研究手段和研究方法的不同, 对我国森林植被净生产量的估算存在较大差异。随着碳循环研究的深入, 人们将会更加关注陆地生态系统碳的净吸收或净排放即净生态系统生产力 (NEP), 净生态系统生产力是由植被净第一性生产力减去土壤呼吸 (Rh) 而求得, 然而在实际研究中, 植被净第一性生产力是个较难测准的值^[13], 本文的研究可为中国森林植被净生态系统生产力的研究提供一定的参考。

3) 1973—2003 年间中国森林植被净生产量的变动范围为 $790.13 \sim 1360.64 \times 10^6 \text{t/a}$, 净生产量的变化趋势与中国森林面积的变化有很好的相关性 ($R^2 = 0.7597$), 这与建国以来中国森林经营与管理

方式的改变有较大关系。植被净生产量的积累形成森林生态系统植被生物量碳库,根据方精云^[11]的研究,近 30 年中国森林植被生物量持续增加,森林起着碳汇的作用,其中 1999—2003 年间中国森林植被的碳汇为 $168.1 \times 10^6 \text{ t}$,而本研究与之对应的森林植被净生产量为 $1360.64 \times 10^6 \text{ t}$,从中可以看出,尽管中国植被净生产量较大,但实际被植被固定下来的碳只占到其中的 12.35%,大部分的碳以凋落物、土壤呼吸、采伐、病虫害和火灾等形式释放了。因此,在应对全球气候变化危机,强调植树造林的同时,也应注意减少由于不当森林经营活动引起的碳排放。

志谢

衷心感谢中国生态网络研究中心提供的数据支持。

参考文献:

- [1] 罗天祥. 中国主要森林类型生物生产力格局及其数学模型[D]. 北京:中科院自然资源综合考察委员会,1996.
- [2] 朴世龙,方精云,郭庆华. 1982—1999 年我国植被净第一性生产力及其时空变化[J]. 北京大学学报:自然科学版,2001,37: 563—569.
- [3] 冯宗炜,王效科,吴刚. 中国森林生态系统的生物量和生产力

[M]. 北京科学出版社,1999.

- [4] Cramer W, Kicklighter D W, Bondeau A, et al. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): overview and key results[J]. *Global Change Biology*, 1999, 5(1): 1215.
- [5] 王玉辉,周广胜,蒋延玲,等. 基于森林资源清查资料的落叶松林生物量和净生长量估算模式[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(4): 420—425.
- [6] 李文华. 森林生物生物量的概念及其研究的基本途径[J]. *自然资源*, 1978(1): 71—92.
- [7] 方精云,刘国华,徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量[J]. *生态学报*, 1996, 16(5): 497—508.
- [8] Min Zhao, Guang-Sheng Zhou. Estimation of biomass and net primary productivity of major Estimation of biomass and net primary productivity of major[J]. *Forest Ecology and Management*, 2005, 207: 295—313.
- [9] 汪业勤. 中国森林生态系统区域碳循环研究[D]. 北京:中国科学院自然资源综合考察委员会,1999.
- [10] Atjay GL, Ketner P, and Duvigneaud P. Terrestrial primary production and phytomass. In: *The Global Carbon Cycle*, SCOPE 13 [M]. John Wiley & Sons, Chichester, 1979: 129—181.
- [11] 方精云,郭兆迪,朴世龙,等. 1981—2000 年中国陆地植被碳汇的估算[J]. *中国科学 D 辑. 地球科学*, 2007, 37(6): 804—812.
- [12] 陈利军,刘高焕,励惠国. 中国植被净第一性生产力遥感动态监测. *遥感学报*, 2002, 6(2): 129—135.
- [13] 常顺利,杨洪晓,葛剑平. 净生态系统生产力研究进展与问题[J]. *北京师范大学学报:自然科学版*, 2005, 41(4): 517—521.

(上接第 18 页)

加快建立森林资源资产评估师制度和评估制度,规范评估行为,维护交易各方合法权益。通过建立林权交易平台,政府也可以监督交易各方的交易行为,加强对林地、林木资源的监督和管理。

参考文献:

- [1] 张敏新,张红霄,刘金龙. 集体林产权制度改革动因研究——兼论南方集体林产权制度内在机理[J]. *林业经济*, 2008(05): 15—19.
- [2] 刘璨,吕金芝,王礼权,等. 集体林产权制度分析——安排、变迁与绩效[J]. *林业经济*, 2006(11): 12—13.
- [3] 贾治邦. 履行建设生态文明重大使命,推进现代林业又好又快发展[J]. *中国林业*, 2008, (2B): 5—6.

- [4] 诺思. 制度变迁理论纲要[J]. *改革*, 1995(3): 53—54.
- [5] 西南地区集体林权制度改革课题组. 对西南地区集体林权制度改革的思考[J]. *经济体制改革*, 2008(04): 96—102.
- [6] 张红霄,张敏新,刘金龙. 集体林权制度改革:林权纠纷成因分析——杨家墟村案例研究[J]. *林业经济*, 2007(12): 12—13.
- [7] 刘璨,吕金芝,王礼权,等. 集体林产权制度分析——安排、变迁与绩效(续二)[J]. *林业经济*, 2007(01): 52—56.
- [8] 沈文星,余光辉. 福建集体林权制度改革利益冲突的制度控制[J]. *林业经济*, 2006(11): 28—29.
- [9] 王文烂. 福建集体林产权制度改革的公平与效率[J]. *林业科学*, 2008, 44(08): 108—109.
- [10] 刘璨,吕金芝,王礼权,等. 集体林产权制度分析——安排、变迁与绩效(续三)[J]. *林业经济*, 2007(02): 47—48.
- [11] 张俊清,吕杰. 集体林产权制度改革效应分析[J]. *林业经济问题*, 2007, 27(03): 277—278.