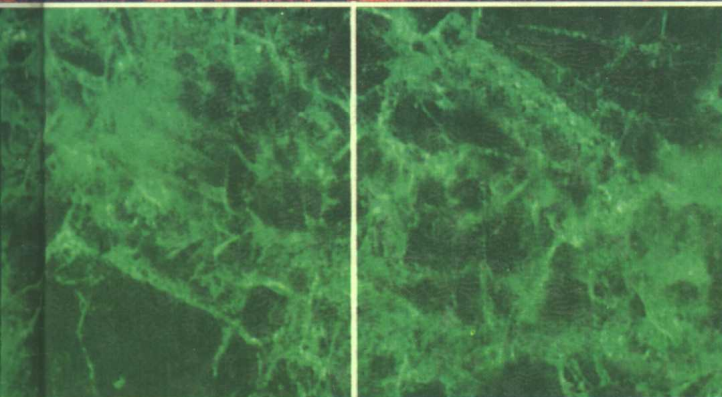


冯宗炜 王效科 吴刚 著



中国森林生态系统的 生物量和生产力

科学出版社

内 容 简 介

本书全面系统地总结和分析了我国自 60 年代以来的森林生态系统生物量和生产力的研究资料,并在此基础上提出了我国森林生态系统主要类型生物量和生产力特征及其分布格局,揭示了不同自然地带或地区森林生态系统物质生产规律,模拟研制了我国森林生态系统生产力与气候因子的模型,并绘制成我国森林生态系统生产力分布图。

本书适合于从事植物生态学、林学、树木学和森林生态系统研究等专业人员及相关专业的大专院校师生参考阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国森林生态系统的生物量和生产力/冯宗炜等著. -北京:科学出版社, 1999. 03

ISBN 7-03-006977-3

I. 中… II. 冯… III. ①森林-生态系-生物量-研究-中国 ②森林-生态系-生产力-研究-中国 IV. S718.55

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 24062 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

科地五印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1999 年 3 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16
1999 年 3 月第一次印刷 印张: 15 3/4
印数: 1—1 000 字数: 357 000

定价: 45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

自本世纪 60 年代中期国际生物学计划 (IBP) 和继后的人与生物圈 (MBA) 研究计划开展以来, 森林生态系统研究工作十分活跃。在全球范围内, 从北方针叶林、温带阔叶林、暖温带常绿阔叶林、地中海硬叶阔叶林一直到热带雨林都开展了森林生态系统生物量和生产力的研究。最初是为了分析森林生态系统的生产能力, 后来是为评价森林生态系统能量利用率和养分循环以及为森林的多途径利用提供基础数据。鉴于地球上天然森林面积日趋缩小, 木材和林副产品供应日益紧缺, 人类生存环境面临严重威胁, 欧洲大陆工业发达国家、日本和新西兰等国日益重视人工林生态系统生产力的研究。我国森林资源贫乏, 覆盖率低, 研究森林生态系统生产力与环境之间的相互关系, 有助于我们揭示森林生态系统物质生产规律, 为扩大森林资源, 使其达到高产、稳产提供了理论依据。随着工业化的迅猛发展, 矿物质燃料 (石油、煤炭等) 消耗的剧增, 每年向大气中排放大量的二氧化碳等气体, 大气中二氧化碳的浓度倍增, 将导致地球表面温度升高, 引起的全球气候变化, 其后果对人类社会来讲将是难以估量的灾难。森林生态系统在全球碳循环中意义十分重大, 有人 (Dixon et al. 1994) 估计全球陆地生态系统的碳储量为 2050 Pg, 而森林生态系统的碳储量为 1164Pg, 占 56%。在目前全球气候变化的研究中, 准确的估计森林生态系统的生物量和生产力, 对于回答每一个森林生态系统单元中, 到底有多大碳贮存密度, 森林生长到底能吸收多少大气中的二氧化碳是至关重要的。

早在 60 年代初, 我在中国科学院湖南会同森林生态站就开始连续研究杉木人工林幼林阶段群落的生物量和生产力。但是由于众所周知的历史原因, 这方面的研究一度被迫中断。70 年代后期, 特别是改革开放以来, 我国科研工作者奋起直追, 北起寒温带, 南至亚热带、热带, 东自滨海, 西至青藏高原, 在森林生态系统生物量和生产力的研究方面作了大量工作, 付出了艰辛的劳动, 陆续发表了不少文献, 积累了丰富的数据资料。“森林生态系统生物量和生产力”是“八五”期间国家自然科学基金重大项目“我国森林生态系统结构和功能规律研究”(9390011) 中的一个课题, 其目的是在整理和分析现有文献资料的基础上, 找出我国森林生态系统主要类型生物量和生产力的分布格局, 揭示不同地带森林生态系统的物质生产规律, 旨在为进一步研究我国森林生态系统能量转化、物质循环和全球气候变化中的作用提供可靠的基础数据。并为我国森林资源的持续发展和经营管理提供决策依据。

本书共分十章，第一、二、六、七章由冯宗炜、王效科执笔；第三、四、五章由吴刚执笔；第八、九、十章由王效科、冯宗炜执笔，文中的插图由赵闯绘制，初稿汇总后由冯宗炜统稿修改完成。

最后应当指出，由于工作量大，时间紧，本书虽已几经修改，但不当和错误之处仍在所难免，敬请读者批评指正。

冯宗炜

1996年5月于北京

目 录

前言

第一章 研究的历史、现状和趋势	(1)
第一节 研究的历史和现状	(1)
第二节 研究的发展趋势	(5)
第三节 研究分类和代表类型	(6)
第二章 森林生态系统的生物量和生产力的研究方法	(8)
第一节 生物量 and 生产力测定原理	(8)
第二节 生物量的测定方法	(12)
第三节 生产力的测定方法	(30)
第四节 生物量 and 生产量测定案例——以杉木林为例	(39)
第五节 区域生物量的估算方法	(46)
第三章 寒温带森林生态系统的生物量 and 生产力	(51)
第一节 自然地理概况	(51)
第二节 森林生态系统主要类型	(52)
第三节 森林生态系统主要类型的生物量 and 生产力	(53)
一、落叶松 (兴安落叶松、阿尔泰落叶松) 林	(53)
二、樟子松林	(57)
第四节 小结	(59)
第四章 温带森林生态系统的生物量 and 生产力	(61)
第一节 自然地理概况	(61)
第二节 森林生态系统的主要森林类型	(61)
第三节 森林生态系统主要类型的生物量 and 生产力	(62)
一、阔叶红松林	(62)
二、长白落叶松林	(65)
三、长白松林	(67)
四、云冷杉林	(68)
五、蒙古栎林	(70)
六、水曲柳林	(71)
七、杨桦林	(73)
八、山杨林	(74)
九、胡杨林	(76)
第四节 小结	(78)
第五章 暖温带森林生态系统的生物量 and 生产力	(80)
第一节 自然地理概况	(80)
第二节 森林生态系统主要类型	(80)
第三节 森林生态系统主要类型的生物量 and 生产力	(83)
一、油松林	(83)

二、华山松林	(86)
三、赤松林	(88)
四、侧柏林	(90)
五、栓皮栎林	(91)
六、辽东栎林	(93)
七、桦木林	(94)
八、赤杨林	(96)
第四节 小结	(97)
第六章 亚热带森林生态系统的生物量 and 生产力	(99)
第一节 自然地理概况	(99)
第二节 森林生态系统主要类型	(99)
第三节 森林生态系统主要类型的生物量 and 生产力	(101)
一、东部常绿阔叶林	(101)
二、西部常绿阔叶林 (含硬叶阔叶林)	(117)
三、常绿阔叶人工林	(130)
四、常绿落叶阔叶混交林 and 落叶阔叶混交林	(138)
五、暖性针叶林	(144)
六、温性针叶林	(179)
七、竹林	(187)
第四节 小结	(190)
第七章 热带森林生态系统的生物量 and 生产力	(192)
第一节 自然地理概况	(192)
第二节 森林生态系统主要类型	(192)
第三节 森林生态系统主要类型的生物量 and 生产力	(193)
一、热带季雨林	(194)
二、热带山地雨林	(194)
三、红树林	(196)
第四节 小结	(198)
第八章 青藏高原森林生态系统的生物量	(200)
第一节 自然地理概况	(200)
第二节 森林生态系统的特点 and 主要类型	(200)
第三节 森林生态系统主要类型的生物量	(202)
第四节 小结	(210)
第九章 林农复合生态系统生物量 and 生产力	(211)
第一节 研究地区自然概况 and 特征	(211)
第二节 林农复合生态系统的生物量 and 生产力	(213)
一、林农复合生态系统中林木生长状况	(213)
二、林农复合生态系统中林木生物量 and 生产力	(215)
三、林农复合生态系统中农作物的生物量 and 生产力	(219)
四、林农复合生态系统的生物量 and 生产力	(220)
第三节 小结	(222)
第十章 中国森林生态系统生物量 and 生产力的分布规律	(223)

第一节	不同气候带森林生态系统的生物量 and 生产力比较	(223)
第二节	中国森林生态系统生物量 and 生产力与世界同类型森林的比较	(227)
第三节	中国森林生态系统的生产力与气候的关系	(229)
参考文献	(231)

第一章 研究的历史、现状和趋势

第一节 研究的历史和现状

森林生态系统生物量和生产力的大规模研究，是从60年代中期国际生物学计划（IBP）中关于不同类型森林生物量和生产力的调查和研究开始的。到了80年代后期，随着对全球碳循环研究的重视，研究者利用以前的样地生物量和面积统计资料，估算由于土地利用变化引起的一个区域向大气中释放的碳量。近年来为了科学地评价森林生态系统在全球大气中碳的源和汇的作用，开始研究森林生态系统的潜在生物量和人类、自然干扰引起森林生态系统生物量和生产力的动态变化过程。

生物量 and 生产力作为生态系统中积累的植物有机物总量，是整个生态系统运行的能量基础和营养物质来源。最早有关生物量和生产力的研究报道，可以追溯到100年前，Ebermeyer（1982）在德国进行了几种森林的树枝落叶量和木材重量的测定，这些研究成果被地球化学家在计算生物圈内化学元素时引用了50多年（Leith and Whittaker 1975）。Boysen Jensen（1910）根据有机物的生产量和消耗量分析了森林的耐荫性，后来，他还在研究森林自然稀疏问题时，研究了森林的初级生产量。1929~1953年，瑞士的Burger研究了树叶生物量和木材生产的关系。但是，总的来看，在50年代以前，森林生物量和生产力的研究并不被人们重视。到了50年代，人们才开始关心生态系统到底能为人类提供多少有机物，因而在日本（Satoo 1955）、前苏联（Remezov 1959）、英国（Rennie 1955, Ovington 1956），科学家们开始对各自国家内的主要森林生态系统生物量 and 生产力进行实际调查和资料收集。

表 1-1 IBP 期间国外森林生物量研究的主要类型和代表作者

国家	研究的森林类型	代表作者
美国	北美温带森林生态系统	Olson(1971)
	大烟山(Great Smoky Mountains)	Whittaker(1966)
	橡树岭(Oak Ridge)	Whittaker et al.(1963)
	布洛克海文森林(Brook Haven Forest)	Whittaker and Woodwell(1969)
加拿大	北方林	MacLean and Wein(1976)
英国	英国人工林	Ovington(1965)
日本	日本温带森林	Satoo(1970)
德国	温带森林	Ellenking(1971)
前苏联	北方泰加林	Marchenko and Karlov(1962)
瑞典	北方人工林	Andersson(1971)

续表

国家	研究的森林类型	代表作者
泰国	热带雨林	Ogawa et al. (1965)
		Kira and Ogawa(1971)
巴西	热带雨林	Jordan(1982)
波多黎各	热带雨林	Jordan(1982)
全球		Duvigneaud(1971)
		Lieth and Whittaker(1975)
		Cannell(1982)
		Olson(1985)

到了70年代初期，随着国际生物学计划（IBP）在许多发达国家的实施，使森林生物量和生产力的研究工作得到了很大的发展，一些主要国家研究的森林类型和代表研究者见表1-1。这些研究成果，为了解全球森林生态系统生物量和生产力的分布格局提供了基础。Reichle et al. (1975)、Duvigneaud (1971)、木村允 (1976)、佐藤大七郎等 (1977)、Leith 和 Whittaker (1975)，以及 Cannel (1982) 编辑的代表作，比较全面地总结了当时的研究成果，得出了主要森林生态系统类型 (Olson 1975, Radin et al. 1978) 和主要气候带的森林生态系统的生物量和生产力 (表1-2、表1-3 和表1-4)。

表 1-2 世界主要气候带森林生物系统的生物量和生产力 (Whittaker and Likens 1975)

生态系统类型	面积 (10 ⁶ km ²)	生产力			生物量		
		范围	平均值	总计	范围	平均值	总计
	[t/(hm ² ·a)]	[t/(hm ² ·a)]	[10 ⁹ t/(hm ² ·a)]	(t/hm ²)	(t/hm ²)	(10 ⁹ t/hm ²)	
热带雨林	17.0	10~35	22	37.4	60~800	450	765
热带季雨林	7.5	10~25	16	12.0	60~800	350	260
常绿林	5.0	6~25	13	6.5	60~2000	350	175
落叶林	7.0	6~25	12	8.4	60~600	300	210
北方森林	12.0	4~20	8	9.6	60~400	200	240
林地和灌丛	8.5	2.5~12	7	6.0	20~200	60	50

表 1-3 全球主要森林生态系统的生物量和生产力 (Atjay et al. 1979)

森林类型	面积 (10 ⁶ km ²)	生产力 (t/hm ²)	总生产力(10 ⁹ t)		活生物质 (t/hm ²)	生物量(10 ⁹ t)	
			干物质	碳		干物质	碳
森林	31.3		48.68	21.9		950.5	427.73
热带潮湿林	10	23	23	10.35	420	420	189
热带季风林	4.5	16	7.2	3.24	250	112.5	50.62

续表

森林类型	面积 (10 ⁶ km ²)	生产力 (t/hm ²)	总生产力(10 ⁹ t)		活生物质 (t/hm ²)	生物量(10 ⁹ t)	
			干物质	碳		干物质	碳
红树林	0.3	10	0.3	0.14	300	9	4.05
温带常绿阔叶针 叶混交林	3	15	4.5	2.02	300	90	40.5
温带落叶阔叶针 叶混交林	3	13	3.9	1.76	280	84	37.8
北方林(郁闭林)	6.5	8.5	5.53	2.49	250	162.5	73.13
北方林(疏林)	2.5	6.5	1.63	0.73	170	42.5	19.12
林木种植园	1.5	17.5	2.62	1.18	200	30	13.5
温带林地	2	15	3	1.35	180	36	16.2

在我国,由于众所周知的历史原因,森林生物量和生产力的研究,至70年代末期才见有报道。最早以杉木人工林生物量和生产力的研究报道为多(潘维铸等 1978,冯宗炜等 1980,朱守谦等 1981,俞新妥等 1982),再就是对马尾松人工林进行研究(冯宗炜等 1982)。李文华等(1981)对长白山温带天然林的研究,使我国森林生态系统生物量的研究在人工林和天然林两个方面都得到发展。经过10多年的研究,南至亚热带、热带,北起寒温带,东自滨海,西达青藏高原,现已报道的森林生物量和生产力的资料比较丰富。如果对这些成果加以总结,可以看出:

(1) 生物量的研究方法主要有相对生长法和皆伐法。第一种方法的应用比较广泛。对这两种方法的成功的应用可参看表1-5。

(2) 生产力的研究方法主要有树干解析法、相对生长法、比值法和气体交换法。前两种方法的应用比较多。对这些方法的成功的应用可参看表1-5。

(3) 对于中国主要森林生态系统的生物量和生产力,目前大都进行了不同程度的调查研究,但生物量的调查数量远比生产力的调查数量为多。

表1-4 全球森林生态系统的生物量和生产力 (Olson 1975)

森林类型	面积 (10 ⁶ km ²)	活物质干重 (t/hm ²)	总生物量 (10 ⁹ t)	生产力 [t/(hm ² ·a)]	总生产力 (10 ⁹ t)
北方和半北方生态系统	17.005		379.42		11.007
泰加针叶林、软阔叶林	10.096		248.57		6.804
北部泰加林地:潜育土	0.880	125	11.00	5	0.440
北部、中部泰加林地:永冻土	2.463	200	49.26	6	1.478
中部泰加林地:灰化土	3.571	260	92.85	7	2.500
南部泰加林:苏打盐土	3.182	300	95.46	7.5	2.386
半北方森林和林地	6.909		130.85		4.203
亚高山林地:永冻土	3.040	160	48.64	5	1.520

续表

森林类型	面积 (10^6km^2)	活物质干重 (t/hm^2)	总生物量 (10^9t)	生产力 [$\text{t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$]	总生产力 (10^9t)
其他山地针叶林:灰化土	2.696	170	45.83	6	1.618
混交林:黄壤	0.393	350	13.75	10	0.393
混交林:黄石灰土	0.301	350	10.53	10	0.301
软阔叶林:灰土	0.227	200	4.54	8	0.182
混交林:灰色山土	0.252	300	7.56	7.5	0.189
温带森林和林地	18.191		583.29		36.493
寒冷针叶林:山地、河谷土壤	3.269	320	104.45	12	3.269
巨大的和海岸针叶林:灰色土	0.500	700	35.00	25.06	1.253
寒冷的:阔叶为主的森林					
北部:灰色土	0.711	370	26.31	8	0.569
中部:棕色、灰棕色土	2.485	400	99.40	13	3.230
中部:石灰土	0.027	370	0.99	12	0.032
湿地:泥质潜育土	0.346	288	9.96	13.6	0.469
其他类型	0.193	90	1.78	12	0.238
温暖的:常绿和落叶林	5.763		226.99		15.298
山地:黄红壤	2.537	410	104.02	18	4.567
低地:红黄壤	1.977	450	88.96	20	3.954
低地:石灰土	0.172	380	6.54	16	0.275
湿地:洪积沼泽土	0.126	400	5.04	22	0.277
湿地:洪积三角洲土	0.269	200	5.38	130	3.497
其他特殊类型	0.682	250	17.05	40	2.728
温暖的或山地的半干旱林地	3.829		53.91		5.456
山地林地:棕壤	2.236	120	26.83	13	2.907
其他有干季的林地	1.593	170	27.08	16	2.549
温暖的低地:潮湿肥沃土壤					
半干旱地区	0.629	250	15.72	40	2.728
干旱地区	0.439	200	8.78	90	3.951

表 1-5 中国森林生态系统生物量和生产力研究主要应用的方法

研究方法	代表的森林类型	代表作者
相对生长法测定生物量	杉木林、马尾松林	冯宗炜等(1980, 1982)
	长白山温带森林	李文华等(1981)、徐振邦(1985)
	兴安落叶松林	刘世荣等(1992)
	暖温带针叶林	陈灵芝等(1984)
	青冈林	陈启婧(1992)
	西南硬叶常绿阔叶林	党承林等(1992)

续表

研究方法	代表的森林类型	代表作者
皆伐法测定生物量	热带山地雨林	李意德等 (1992)
树干解析法测定生产力	杉木林、马尾松林	冯宗炜等 (1980, 1982)
	长白山温带森林	李文华等 (1981)、徐振邦 (1985)
	西南硬叶常绿阔叶林	党承林等 (1992)
相对生长法测定生产力	青冈林	陈启嫦 (1992)
	西南硬叶常绿阔叶林	党承林等 (1992)
比值法测定生产力	青冈林	陈启嫦 (1992)
气体交换法测定生产力	常绿阔叶林	彭少麟等 (1995)

第二节 研究的发展趋势

森林生态系统中的碳在不断地通过植物光合和呼吸作用、死生物质的分解以及土壤呼吸作用，与大气间进行交换。作为陆地生态系统的最大碳库，森林生态系统中碳的贮存量与大气中的 CO_2 浓度升高密切相关，其任何增减，都会涉及到大气中 CO_2 浓度的变化。因此，森林生态系统总生物量和生产力的研究，是判断森林生态系统是大气中 CO_2 的源和汇的重要标志。以下几个方面的研究已经引起了生态学界和林学界的极大关注。

一、土地利用方式的变化引起的森林生态系统总生物量变化及其对大气中 CO_2 浓度的影响

大气中 CO_2 浓度的增高，不但是由于矿物质燃烧造成的，而且森林砍伐等引起的土地利用方式变化也会增加大气中 CO_2 的浓度。据估计，1980年，由于热带森林砍伐，向大气中释放的 CO_2 量相当于矿物质燃烧释放的 10%~50% (Houghton 1990)。土地利用方式的改变直接影响了大气中排放的 CO_2 ，这是由于森林生态系统中总生物量的变化所造成的。为此，这就需要估算所研究地区的总生物量。Houghton 等 (1983) 在估算自从 1860 年以来，森林面积减少向大气排放 CO_2 时，就是根据森林在遭到破坏时，森林生态系统中总生物量的变化过程得出的。

二、估计森林生态系统吸收大气中 CO_2 的能力

森林既然是陆地生态系统中最大的碳库，并具有较高碳的贮存密度，那么森林生态系统在减轻全球气候变化中的作用如何，这就是如何增加森林生态系统的总生物量，目前的分析途径有以下几种：

(1) 增加森林面积，即意味着增加陆地生态系统的总生物量，减少大气中 CO_2 浓度的增加。这方面的研究较多。Grubler (1993) 总结了以前的几种造林方案所能达到

中国森林生态学

的吸收大气中 CO₂ 的目标。无论那种方案，都是建立在对森林生态系统总生物量研究的基础上的。

(2) 潜在生物量 (potential biomass density) 的估算。生长在某种环境下的某一森林类型，总存在一种最大的生物量。当该森林未发育成熟或受到人为干扰时，实际生物量 (actual biomass density) 总比潜在生物量低 (Iverson et al. 1993, 1994)。Iverson 在评价东南亚森林在吸收大气 CO₂ 的能力时，引入了此概念，并利用当地的地形、土壤和植被资料，用地理信息系统 (GIS) 编绘了东南亚潜在生物量分布图。根据他们的估算 (Iverson et al. 1994)、东南亚热带雨林的潜在生物量为 370 t/hm²。而由于土地退化和人为干扰，实际生物量仅有 194 t/hm²。即要达到潜在生物量，该地区森林生态系统中的碳贮存量将增加 1 倍多。

(3) 森林生态系统的总有机物质量和净生产量 (NEP) 的研究。以前对于森林生态系统的生物量和生产力的研究是不完全的。大多数研究只注重森林中乔木层的生物量和生产力，对森林中下木层和草本层的研究还很不够。只有很少的研究调查了森林生态系统中的枯立木量和凋落物的量。目前，随着人们对森林生态系统在全球变化中的作用的重视，提出了森林生态系统的总有机物质量和净生产量 (NEP) 的估算，这不但包括了森林中植物物质的生物量和生产力，而且包括了土壤中的有机物质和有机物质积累量。

(4) 森林生态系统生产力模型的研究。由于森林生态系统的生产力是受多种因素影响的，不但有自然的，如气候、地形、土壤等，而且有人为的，如人为集约经营和破坏。早期的森林生产力与气候的关系研究，主要是采用经验模型，包括 Miami 模型、纪念模型、筑坡模型。近来，随着研究全球气候变化对森林生态系统研究的不断深入，关于气候与生产力的关系的研究也就成为一个研究热点。一些生物地球化学循环模型的出现有着重大意义。

第三节 研究分类和代表类型

目前我国森林生态系统的分类和区划有许多种，如《中国植被》中的植被分类和区划 (1980)，中国森林立地的划分 (中国森林立地编委会 1984)，《中国山地森林》中的分类和区划 (林业部调查规划院 1981) 以及周以良 (1990) 编写的《中国森林》中的中国森林主要类型的划分等。这些分类在地带性森林类型的划分上基本一致，但进一步划分则差别较大，这是由于不同的研究者进行类型划分的目的和方法不同所致。根据中国森林生态系统生物量和生产力的研究现状，结合我国的气候、地形和人为活动的特点，我们在本项研究中采用的中国森林生态系统分类和代表类型见表 1-6。

表 1-6 中国森林生态系统分类和代表类型

森林生态系统	代表类型
寒温带	
针叶林	兴安落叶松、阿尔泰落叶松林、樟子松林
温带	

续表

森林生态系统	代表类型
针叶林	阔叶红松林、长白落叶松林、长白松林、鱼鳞云杉冷杉林
落叶阔叶林	蒙古栎林、水曲柳林、杨桦林、山杨林、胡杨林
暖温带	
针叶林	油松林、华山松林、赤松林、侧柏林
落叶阔叶林	栓皮栎林、辽东栎林、杨桦林、赤柏林
亚热带	
针叶林	
暖性针叶林	杉木林、马尾松林、云南松林、思茅松林
温性针叶林	云杉林、紫果云杉林、油麦吊云杉林、长苞冷杉林
常绿阔叶林	
东部常绿阔叶林	青冈林、栲树林、黄果厚壳桂林、厚壳桂林、粘木林、木荷林
西部常绿阔叶林	水果石栎林、短刺栲林、黄毛青冈林、灰青栎林、黄背栎林、元江栲林
常绿阔叶人工林	青钩栲林、木荚红豆树林、樟树林、米槠林、观光木林、楠木林、火力楠林
常绿落叶阔叶林和落叶阔叶混交林	喀斯特山地常绿落叶阔叶混交林(以青冈、乌桕、化香为主) 落叶阔叶混交林(以落叶栎类、枫香为主)
竹林	毛竹林、慈竹林、水竹林、箭竹林
热带	
雨林和季雨林	山地雨林、山地季雨林
海岸红树林	秋茄林、海莲林、木榄林、海桑林
青藏高原	
亚高山寒温性针叶林	冷杉林、铁杉林、落叶松林、高山松林、乔松林、长叶松林
山地暖性针叶林	云南松林
山地硬叶阔叶林和落叶林	高山栎林、长穗桦林、长序杨林
山地常绿阔叶林	樟、楠、槭混交林、通麦栎阔叶林、青冈阔叶混交林
低山热带林	低山热带雨林
农林生态系统	农田防护林、桐粮间作、果粮间作

第二章 森林生态系统的生物量 和生产力的研究方法

从森林生态系统生物量和生产力的研究历史分析可以看出，要获得对森林生态系统生物量和生产力的可靠估计，研究方法至关重要。在我国，有关这方面的介绍只散见于一些研究文献中，没有系统的研究方法的文献出版。作者（冯宗炜）曾于1981年，应中国生态学会的邀请在《生态系统研究法》讲习班上，根据自己多年来研究的实际系统地讲授了森林生态系统生物量和生产力的基本研究方法及其原理。尽管这些年来，计算机及遥感技术的发展，使生物量和生产力的研究和分析更为快速容易，但有关这方面研究的基本方法和原理，仍深感有介绍的必要。

第一节 生物量 and 生产力测定原理

一、生物量和生产力的基本概念

为了进行森林生态系统生物量和生产力的测定和研究，首先需要对一些常见的术语和它们之间的关系有明确的概念。

（一）第一性生产或初级生产和第二性生产或次级生产

第一性生产或初级生产（primary production），即森林生态系统中的绿色植物生产者，将来自太阳的光能以化学能固定为其他消费者和分解者能够利用的有机物的形态，这是最初的能量储存过程，也是产生生态系统的特有的物质循环的原动力，在第一性生产力中本应还包括自养细菌通过化学合成所形成的有机物生产在内，但后者在数量上很少，故一般在此不予考虑。

第二性生产或次级生产（secondary production），即第一性生产者之外的其他有机体包括消费者和分解者，它们利用第一性生产的有机物进行同化作用的再生产。

（二）总生产量和净生产量

第一性生产包括下面两个概念：

（1）总生产量或总第一性生产量（gross production or gross primary production）：即一定时期内植物从无机物生产出来的有机物质的总量。其中包括同期间内植物呼吸所引起的有机物质消耗量（ R ）。

（2）净生产量或净第一性生产量（net production or net primary production）：即从

总生产量减去植物呼吸的消费量后剩下来的数量。也即一定时期内，经植物的组织或贮藏物质的形式所表现而蓄积起来的有机物质的数量。

植物生态学家一般都对净生产量很关注，并进而常常根据植物或植被的某一特定部分（地上部分、根系或种子的产量等）加以分析说明。

（三）生产力、总生产力和净生产力

生产力（productivity），即对生产量的表示，是指单位面积和单位时间（通常为1年）所生产有机物质的量，也即生产的速率，通常用有机物质 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 或用能量 $\text{J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$ 表示。

总生产力（gross productivity），即植物在单位面积和单位时间内从无机物生产出来的有机物质的总量。

净生产力（net productivity），即上述的有机物质的数量减去单位面积和单位时间内的植物呼吸的消耗量所剩下的数量。

（四）生物量和现存量

生物量（biomass）是泛指单位面积上所有生物有机体的干重，前面谈到的净生产量和净生产力所积累的干物质，实际上就是生物量和一年的生物量。

现存量（standing crop）是指单位面积上某个时间所测得生物有机体的总重量。通常把现存量看成生物量的同义语。生物量与生产力的区别关键在于，前者表示一段时期积累的生产量，后者表示单位时间（通常为1年）内所产生的生物量，后者仅是前者的一部分，即一年的生物量，表示积累的速率。

二、生物量和生产力的测定原理

1977年，Ogawa 和 Kira 等人曾指出，在森林群落中，采用有机物质收支表的方法，很容易理解测定第一性生产的一些原理，设时间为 t ，则将时刻 t_1 至 t_2 的这段时间的长度定为 Δt 。

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (2.1)$$

设在某时刻 t 的单位面积上生物有机体的总量即现存量为 Y ，设在 t_1 和 t_2 时的现存量 Y_1 和 Y_2 ，把在 Δt 这段时间的现存量的变化称之为群落生长量，以 ΔY 表示之。即

$$\Delta Y = Y_2 - Y_1 \quad (2.2)$$

在 Δt 这段期间新合成的有机物质的总量称为总生产量，以 ΔP_g 表示之，而由植物体的呼吸所消耗的有机物质的量为呼吸消耗量，以 ΔR 表示之。这两者之差是在 Δt 这段期间所形成的植物体量（不管在 t_2 时是否活着），把它称之为净生产量，以 ΔP_n 表示之。

$$\Delta P_n = \Delta P_g - \Delta R \quad (2.3)$$

在 Δt 这段期间，由群落的活的植物有机体量中，通过落叶、落枝、枯死的花或脱落的果实鳞片之类物所失去的生物量称之为枯死凋落量，以 ΔL 表示，由于动物等异养生物的摄食所失去的量称之为被食量，以 ΔG 表示之。

表 2-1 是表示在 Δt 的这段期间，从 t_1 到 t_2 时间内森林群落中有机物质输入和输出的收支状况。作为收入项有 t_1 的现存量 Y_1 和在 Δt 这段期间的总生产量 ΔP_g ，作为支出项目有：在 Δt 这段期间的呼吸消耗量 ΔR ，枯死凋落量 ΔL ，被食量 ΔG 以及在 t_2 时的现存量 Y_2 ，作为这类收支表，收入项的合计和支出项的合计必须相等，所以

$$Y_1 + \Delta P_g = \Delta R + \Delta L + \Delta G + Y_2 \quad (2.4)$$

由(2.2)、(2.3)及(2.4)可导出下列关系

$$\Delta P_g = \Delta Y + \Delta R + \Delta L + \Delta G \quad (2.5)$$

$$\Delta P_n = \Delta Y + \Delta L + \Delta G \quad (2.6)$$

若利用上述这种关系，即使不测定光合作用，只需通过测定在 Δt 期间的现存量的生长量和 ΔL 、 ΔG 、 ΔR ，就可求得 ΔP_g 和 ΔP_n 。这种将各项的定值累积，推算 ΔP_g 和 ΔP_n 的方法，可称之为“累积法（也称群落收获法或现存量法）”。

表 2-1 t_1 到 t_2 期间，植物群落的有机物质收支表

收 入	支 出
在 t_1 时的现存量: Y_1 同化合计或总生产量: ΔP_g	呼吸消耗量: ΔR 植物枯死、凋落量: ΔL 被食量: ΔG 在 t_2 时的现存量: Y_2
$Y_1 + \Delta P_g$	$\Delta R + \Delta L + \Delta G + Y_2$

另外也可以测定表 2-1 中左边收入项，即收入法，可通过光合和呼吸的气体代谢量的方法，直接测出 ΔP_g 和 ΔP_n 。这种方法需要精密的仪器，由于森林中的树体高大，测定时困难较多，所以在测定森林生产力的大量文献中，大部分是采用“累积法”，甚至有人认为是唯一的方法（伊田 1971）。下面我们把“累积法”再展开加以讨论，在 $t_1 - t_2$ 这段期间，生物量是可分成老的和新生的两部分，老的那部分是指在 t_1 以前就已形成的，符号字母后面带有 O 字母；而新的部分是指从 t_1 到 t_2 这段期间所生长的那部分，符号字母后面带有 N 字母。表 2-2 表示了从 t_1 到 t_2 这段期间植物群落中老的和新生的部分有机物质的收支状况，由表 2-2 中得出。

$$Y_1 + \Delta P_{gO} + \Delta N J_O = \Delta O J_N + \Delta R_O + \Delta L_O + Y_{2O} \quad (2.7)$$

$$\Delta O J_N + \Delta P_{gN} = \Delta N J_O + \Delta R_N + \Delta L_N + Y_{2N} \quad (2.8)$$

因为

$$\Delta P_g = \Delta P_{gO} + \Delta P_{gN}$$

$$\Delta P_n = \Delta P_{NO} + \Delta P_{NN}$$

$$\Delta R = \Delta R_O + \Delta R_N \cdots \cdots \text{等}$$

所以