

气候变化对中国森林生产力的影响

I. 中国森林现实生产力的特征及地理分布格局*

刘世荣 徐德应 王兵

摘要 本文从生产力与环境关系角度,比较分析了森林第一性生产力的地理分布特征,阐述了层的生产力与环境间的关系以及种生产力与群落结构间的关系。结果表明:森林净生产力,地上部年凋落量随纬度和海拔高度的增加而减少,而凋落物现存量呈相反的变化趋势,森林生产力的地理分布与环境水热条件密切相关;森林生物量无明显的地理规律性变化,但多物种复杂结构的成熟天然林生物量较高;层的生产力随环境条件产生相互排斥或补充各异变化;种的生产力反映了种在群落中的地位和作用,决定群落的结构特征。

关键词 中国森林、现实生产力、地理分布

森林生产力是森林与环境之间本质联系的重要标志,是森林生态系统中作为第一性生产者植物群落结构与功能的综合体现。目前,森林生产力研究正向微观的纵深方向和宏观的综合方向发展,微观层次涉及种的生产力、层的生产力及生产力成分等;宏观层次涉及地区、区域、陆地乃至全球景观生产力^[1~8]。国内70年代后才开始森林生产力的研究^[9~43],迄今为止,国内尚无森林景观生产力分布格局规律的研究报道。本文对比分析了各自然地理区森林生产力的特征,籍以阐明森林生产力的地理分布规律及与环境条件间的相互关系,为中国森林潜在和现实生产力的估计,模拟预测气候变化对生产力的影响奠定基础。

1 数据收集和处理

本文收集全国60多个森林群落的生物生产力数据(表1)。数据点遍布从寒温带至热带的各个气候带以及各带内的垂直景观带,具有广泛的代表性,能够反映出中国森林生产力随自然地理环境变化的景观分布格局。

2 结果与分析

2.1 生物量和净初级生产力的地理分布格局

通过对全国各森林群落生物生产力数据的分析,概括出中国森林第一性生产力的地理分布格局(表2)。就全国而言,森林地上部分生物量和总生物量变化范围在30~650 t/hm²和40~750 t/hm²;地上部分和总净初级生产力的变化范围在0.5~30 t/(hm²·a)和1~35

1993-03-28收稿。

刘世荣副研究员,徐德应,王兵(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091)。

*本文属“八五”国家科技攻关项目“全球气候变化预测、影响和对策研究”的一部分。

表1 森林生态系统生物生产力

生态系统类型	地 区	生物量(t/hm ²)		生产力[t/(hm ² ·a)]		叶生物量 (t/hm ²)	叶生产力 [t/(hm ² ·a)]	年凋落量 [t/(hm ² ·a)]	凋落物现存量 (t/hm ²)
		地上	地下/地上	地上	地下/地上				
		总量	总量	总量	总量				
兴安落叶松林 ⁽⁹⁾	大兴安岭塔河	49.90	0.09	54.58	2.73	0.02	2.79	1.89	1.89
樟子松林 ⁽⁹⁾	大兴安岭塔河	38.39	0.21	46.58	3.06	0.06	3.26	2.95	1.81
白桦林 ⁽⁹⁾	大兴安岭塔河	65.05	0.13	73.63	3.45	0.09	3.54	2.78	2.78
杜鹃落叶松林 ⁽¹⁰⁾	大兴安岭根河	201.13	0.41	285.27	5.19	0.41	7.34	1.96	1.96
杜香落叶松林 ⁽¹⁰⁾	大兴安岭根河	114.71	0.71	196.08	5.82	0.69	9.86	1.46	1.46
泥炭藓落叶松林 ⁽¹⁰⁾	大兴安岭根河	92.03	0.25	115.14	7.78	0.07	8.32	0.53	0.53
阔叶红松林 ^(11,12)	小兴安岭凉水	274.60	0.33	363.90	7.29	0.10	8.01	8.80	4.89
次生柞树林 ⁽¹³⁾	尚志县帽儿山	171.76	0.24	212.43	12.04	0.18	14.18	3.49	3.49
次生山杨林 ⁽¹³⁾	尚志县帽儿山	82.58	0.41	116.84	8.61	0.20	10.31	1.80	1.80
次生硬阔林 ⁽¹³⁾	尚志县帽儿山	68.77	0.42	97.73	10.45	0.15	12.04	4.09	4.09
次生杂木林 ⁽¹³⁾	尚志县帽儿山	74.82	0.44	108.82	10.87	0.16	12.57	3.32	3.32
次生白桦林 ⁽¹⁴⁾	尚志县帽儿山	173.52	0.19	207.01	11.96	0.21	14.45	2.76	2.76
落叶松人工林 ⁽¹⁵⁾	尚志县老山	114.29	0.27	145.62	11.71	0.18	13.86	3.38	3.38
落叶松林 ⁽¹⁶⁾	长白山东坡	242.61	0.18	285.24	11.07	0.21	13.45	18.96	11.04
长白落叶松林 ⁽¹⁶⁾	长白山东坡	227.90	0.10	251.09	8.50	0.12	9.50	5.68	23.19
次生白桦山杨林 ⁽¹⁶⁾	长白山东坡	84.39	0.10	92.75	12.70	0.12	14.19	6.43	11.19
岳桦林 ⁽¹⁶⁾	长白山东坡	94.31	0.39	130.62	4.70	0.10	5.15	3.31	13.24
阔叶红松林 ⁽¹⁶⁾	长白山东坡	275.71	0.19	328.75	14.88	0.36	20.29	7.02	14.68
沙地樟子松林 ⁽¹⁷⁾	辽宁樟子松台	41.14	0.27	52.45			2.69	6.83	9.68
沙地油松林 ⁽¹⁷⁾	辽宁樟子松台	69.84	0.39	109.31	0.75	0.39	1.04	7.83	8.31
红皮云杉林 ⁽¹⁸⁾	内蒙白音敖包	59.0	0.19	70.0	5.0		1.62	3.35	25.31
油松人工林 ⁽¹⁹⁾	河北承德	70.95	0.16	82.46	6.29	0.16	7.31	8.97	28.52
油松人工林 ⁽²⁰⁾	河北隆化	69.05	0.52	104.68	6.25	0.25	7.84	3.34	
华北落叶松林 ⁽²¹⁾	北京西山	45.05	0.26	56.88	7.93	0.16	9.18	10.61	15.04
油松人工林 ⁽²²⁾	北京西山	48.33	0.34	64.63	8.76	0.22	10.70	9.51	11.19
油松阔叶混交林 ⁽²²⁾	北京西山	38.33	0.28	49.22	7.99	0.21	9.70	7.98	9.10
阔叶人工林 ⁽²²⁾	陕西神木	12.70	0.22	15.48	0.81	0.19	0.86	3.76	7.40
油松人工林 ⁽²³⁾	内蒙贺兰山	105.50	0.24	130.35	1.41	0.23	1.74	21.37	
青扦云杉林 ⁽²⁴⁾	山西太岳	79.60	0.19	94.72	9.8		8.7	8.7	
油松人工林 ⁽²⁴⁾	陕西志丹	58.81	0.20	70.33	2.88	0.19	3.44	10.61	9.62
油松人工林 ⁽²⁵⁾	甘肃天水	63.65	0.21	76.78	9.61	0.13	10.84	7.05	3.37

续表

生态系统类型	地 区	生物量(t/hm ²)			生产力[t/(hm ² ·a)]			叶生物量 (t/hm ²)	叶生产力 [t/(hm ² ·a)]	年凋落量 [t/(hm ² ·a)]	凋落物现存量 (t/hm ²)
		地上	地下/地上	总量	地上	地下/地上	总量				
油松人工林 ^[22]	陕西蓝田	70.76	0.21	85.38	3.27	0.20	3.93	7.88	0.36		9.07
油松人工林 ^[23]	陕西宁陕	59.89	0.17	69.87	2.97	0.16	3.45	8.17	0.40		12.45
华山松林 ^[25]	陕西秦岭	67.64	0.18	79.67	12.01	0.13	13.53	7.03	3.73	3.61	
湿地松人工林 ^[26]	江苏南京	100.8	0.17	118.0			9.83				
紫果云杉林 ^[27]	川西亚高山	176.38	0.46	257.36	4.68	0.21	5.66	14.80	0.34		28.54
云杉林 ^[28]	川西亚高山	124.67	0.22	151.52	2.70	0.21	3.26	14.24	0.31		7.26
黄山松人工林 ^①	河南黄柏山	53.42	0.22	65.62	3.81	0.22	4.65	6.90	0.50	3.64	
巴山松林 ^[29]	陕西汉中	110.56	0.20	132.25	11.07	0.10	12.14	8.20	5.51	5.42	11.16
杉木人工林 ^[30]	河南信阳	79.49	0.27	101.33	3.98	0.22	4.84	12.23	0.62		2.30
湿地松人工林 ^[26]	江苏句容			165.40			13.78				
杉木人工林 ^[31]	江苏下蜀	89.0	0.23	109.9	6.80	0.23	8.93	13.10	1.32	1.67	
次生栎林 ^②	江苏下蜀	159.13	0.25	198.73	9.40	0.16	10.94	5.46	5.46	7.36	9.22
红杉人工林 ^[32]	四川卧龙	97.78	0.24	120.94	9.96	0.08	10.79	5.42	3.97	3.99	14.23
常绿阔叶林 ^③	浙江建德	83.01	0.34	111.27	14.16	0.30	18.35	6.92	5.10	6.73	
海南五针松人工林 ^[33]	贵州赤水	136.12	0.20	161.40	11.19	0.12	12.60	12.08	3.02		5.78
杉木人工林 ^[34]	湖南会同	131.46	0.18	154.92	8.74	0.18	10.34	9.25	0.67	1.76	13.2
杉木人工林 ^[35]	湖南会同	250.92	0.10	276.51	12.92	0.09	14.10	12.95	2.59	4.48	4.12
杉木人工林 ^[36]	广西田林	112.01	0.25	139.67	6.52	0.25	8.15	11.92	0.70	4.99	16.32
海岸红树林 ^[37]	福建九龙江	93.18	0.74	162.44	17.18	0.37	23.46	5.87	5.67	7.29	
常绿阔叶林 ^[38,39]	广东流溪河	199.02	0.25	248.77	18.69	0.32	24.65	8.44	4.22		4.15
马尾松林 ^[38]	广东流溪河	193.08	0.38	266.45	18.62						
常绿阔叶林 ^[40]	广东鼎湖山	292.02	0.46	425.47			26.00	12.17		9.20	
针阔混交林 ^[40]	广东鼎湖山	176.21	0.48	261.13			20.99	18.64		7.10	
杉木人工林 ^[30]	广西玉林	112.67	0.18	132.67	7.45	0.13	8.40	6.26	0.38		1.96
海岸红树林 ^[41]	海南河港	243.40	0.71	415.20	29.33	0.18	34.47	12.49	10.63	16.07	
海岸红树林 ^[41]	海南河港	245.98	0.70	417.78	25.40	0.21	30.68	10.63	10.63	12.55	
热带山地雨林 ^[42]	海南黎母山	507.24	0.16	587.41			8.75				
热带季雨林 ^[42]	海南尖峰岭	185.45	0.14	211.41	6.24		5.13			9.75	3.89
热带山地雨林 ^[43]	海南尖峰岭	639.22			9.87		23.23			7.71	5.96
次生山地雨林 ^[43]	海南尖峰岭	266.91					7.76				6.00

注：①河南省林业局，河南商城黄柏山林场，河南农学院园林系，黄山松人工林生态系统中心林木生物产量的研究，1979，1~24。
②阮宏华，黔灵山次生栎林养分循环的研究（硕士论文），1989，1~62。③陈启常，亚热带青岗栎常绿阔叶林生态系统生物生产力研究（博士论文），1988。

表2 各气候带森林植被生物产量

气候带	生 物 量 (t/hm ²)				净 生 产 力 [t/(hm ² ·a)]				叶 生 物 量 (t/hm ²)		叶 生 产 量 [t/(hm ² ·a)]					
	地上	地下	平均	总量	地上	地下	平均	总量	范围	平均	范围	平均				
寒温带	30~200	93	0.09~0.71	0.30	40~300	128	2~8	4.6	0.02~0.69	0.22	3~10	5.8	0.5~3	1.93	0.5~3	1.74
温带	70~280	157	0.10~0.44	0.27	90~370	188	4~15	10.4	0.10~0.36	0.17	5~20	12.3	1~19	5.75	1~7	3.98
暖温带	10~80	55	0.16~0.52	0.25	15~95	66	2~10	6.2	0.13~0.25	0.19	1~11	6.4	3~11	7.75	0.2~4	2.08
(干旱高山)	70~100		0.24~0.39		100~130		0~1.5		0.23~0.39		1~2		7~21		0.1~0.3	
北亚热带	60~160	98	0.17~0.27	0.22	70~200	126	2~10	6.5	0.08~0.23	0.17	3~14	8.9	5~13	8.88	0.4~6	2.35
(亚热带)	50~180	107	0.18~0.46	0.26	60~300	137	2~12	6.9	0.10~0.21	0.17	3~14	7.9	7~15	10.27	0.3~6	2.08
中亚热带	80~250	143	0.10~0.34	0.21	110~280	169	6~14	10.7	0.09~0.30	0.19	8~19	12.7	6~13	2.38	0.6~5	2.42
南亚热带	90~300	178	0.18~0.74	0.42	160~430	250	7~19	15.5	0.13~0.37	0.27	8~26	20.7	5~19	10.28	0.3~6	3.42
热带	180~640	348	0.16~0.71	0.43	210	408	6~30	17.7	0.18~0.21	0.20	35	32.6	5~24	11.33	10	10.63

$t/(hm^2 \cdot a)$; 叶生物量和生产量变化在 $0.5 \sim 24 t/hm^2$ 和 $0.1 \sim 10 t/(hm^2 \cdot a)$ 。上述森林第一性生产力各项指标出现了10至100倍的巨大变异, 显然这种变异是由中国大陆各地理区悬殊的气候环境所导致的。

从寒温带至热带, 森林生物量呈现增加趋势, 但规律性不明显。因为森林生物量显著地受优势植物年龄的影响^[1]。在中国, 结构最复杂物种最多样的热带成熟的原始山地雨林拥有最大的生物量 ($600 \sim 750 t/hm^2$), 其次是南亚热带的季风常绿阔叶林 ($250 \sim 425 t/hm^2$)、海岸红树林 ($415 \sim 417 t/hm^2$)、温带原始针阔叶混交林 ($320 \sim 370 t/hm^2$) 和湿润的西南亚高山针叶林 ($250 \sim 300 t/hm^2$)。天然次生幼林和人工林生物量较小, 多在 $200 t/hm^2$ 以下。森林净初级生产力的地理分布规律十分明显。从寒温带至热带, 森林净初级生产力的最大值出现在水热资源十分丰富的热带地区, 海南河港海岸红树林净生产力高达 $34.5 t/(hm^2 \cdot a)$, 其次是南亚热带海岸红树林、常绿阔叶林和针阔混交林, 净生产力在 $20 \sim 26 t/(hm^2 \cdot a)$, 温带长白山原始阔叶红松林的净生产力也较高 [约 $20 t/(hm^2 \cdot a)$]。最小值出现在干旱半旱地区的高山亚高山针叶林, 低于 $2 t/(hm^2 \cdot a)$, 这主要是受水分的限制, 年降水量往往小于 $400 mm$ 。此外, 西南亚高山针叶林和寒温带针叶林的净生产力相对较低, 主要是受温度的限制。

目前尚不能定量估计热带森林生产力的实际水平。据李意德报道^[31], 500年生原始山地雨林地上部分净生产力为 $6.242 t/(hm^2 \cdot a)$, 低于20年生山地天然更新雨林 [$9.866 t/(hm^2 \cdot a)$] 和集约经营的热带人工林 [$21 \sim 30 t/(hm^2 \cdot a)$]。按Lieth^[1]统计的热带雨林生产力为 $10 \sim 35 t/(hm^2 \cdot a)$, 平均为 $20 t/(hm^2 \cdot a)$ 。显然, 中国热带雨林生产力测定数值偏低, 这是由于生产力估计中没有包括凋落和动物采食部分以及地下部分的生产量。当然, 热带雨林较高的生物量和该地区较高的夜温也会造成群落呼吸消耗量增大。

中国暖温带和亚热带大部分地区, 在人为反复强烈干扰下, 净生产力明显低于温带针阔混交林及其天然次生林, 接近寒温带南部针叶林的净生产力水平。

森林净初级生产力还明显随海拔高度的变化而变化。以温带长白山植被为例^{[16], 1)}(图1), 随海拔高度的增加, 年平均气温和土壤温度降低, 森林转变成灌丛和高山苔原, 植被第一性生产力随之降低。

叶生物量按纬度由北向南在增加, 寒温带落叶松林叶生物量最小, 热带雨林最大。但是, 高山亚高山针叶林叶量与热带和南亚热带森林叶量相差无几, 这是常绿暗针叶林群落性质本身所决定的。从寒温带至热带, 森林叶生产量显著增加, 与净生产力地理变化规律极为相似, 这充分表明叶生产量直接反映了生产力的水平。

2.2 凋落量和凋落物现存量的地理分布

中国各自然地理带森林地上部凋落量和凋落物现存量的地理分布(表3)表明: 单位面积上的地上部年凋落量按纬度逐渐增加, 而

表3 气候带森林植被地上部凋落物和凋落物现存量

气候带	年凋落量 [$t/(hm^2 \cdot a)$]		凋落物现存量 (t/hm^2)	
	范围	平均	范围	平均
寒温带	3.0~4.5	3.5	22~28	23.9
温带	1~6	3.6	7~24	13.2
暖温带	2~5	3.4	7~28	11.9
(干旱高山)			25~28	26.9
北亚热带	1~8	4.3	2~15	9.6
(亚高山)	3~6	4.2	7~28	15.6
中亚热带	1~7	4.5	4~17	9.9
南亚热带	7~10	7.9	1~5	3.1
热带	7~17	11.5	3~6	5.3

1) 程伯容, 许广山, 丁桂芳. 长白山北坡不同林型凋落物量及其化学组成. 1985, 1~6.

凋落物现存量呈现相反的变化趋势，最大值出现在高纬度气候寒冷的针叶林和中纬度干旱寒冷的高山针叶林中(20~30 t/hm²)，最小值出现在热带森林中(3~6 t/hm²)。

森林凋落量沿海拔垂直带也产生相应的变化。以长白山森林为例^{[16],17}(图1)，随海拔高度的增加，生境从湿变干，气温由热变冷，森林凋落量逐渐减少。分布在下部的阔叶红松(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc)林年凋落量为上部岳桦(*Betula ermanii* Cham)林的2倍，但是，凋落物现存量却相差甚小。森林凋落物量的水平纬度带和垂直高度带的变化均与净生产力的变化规律一致，这表明森林凋落量反映了净生产力水平。

2.3 层的生产力与环境条件的关系

环境不但影响群落生产力，而且影响生产力层的分布，从而导致群落结构的变化。研究森林层的生产力变化对深入了解生产力与环境以及群落结构间的关系具有重要的意义。在大兴安岭地区(图2)，当乔木层生产力沿湿度梯度推移下降时，下木层和地被层增加，并与乔木层分享优势地位。其中，下木层在中度冷湿环境中达到高峰，然后沿极度冷湿梯度而减少；地被层则继续增加，在极端湿冷环境中出现极大值，占绝对优势。这是由于随土壤冷湿化加剧，生境不利于乔木层生长，而下木层和地被层得到了发展的条件。在极端湿冷的生境中，乔木层和下木层的生产力均受到限制，反而为地被层提供了适宜的发展空间，所以其生产力占据优势。

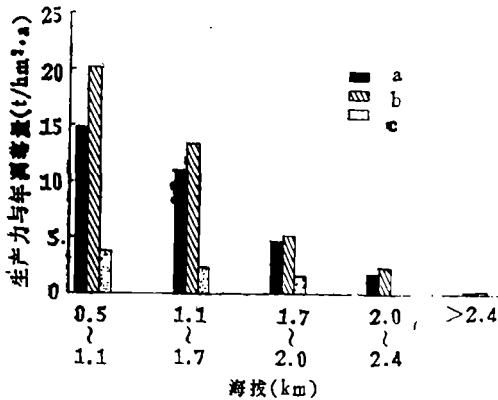


图1 长白山森林净生产力和凋落量随海拔的变化
a: 地上部净生产力; b: 总生产力; c: 年凋落量

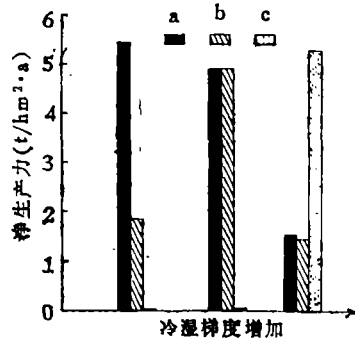


图2 寒温带针叶林层生产力变化
a: 乔木层; b: 下木层; c: 地被层

在南亚热带鼎湖山地区(图3)，随湿度梯度下降，乔木层层数由3层减少到1层，其生产力也随之下降。下木层和草本层同时增加，但趋向较干旱环境时，草本层生产力下降而下木层生产力继续增加，并超过草本层占据第二优势。在温带长白山地区(图4)，当乔木层沿温度梯度由高到低推移而下降时，下木层也降低，当乔木层消失时，下木层增加占据绝对优势。而草本层的反应是双峰型的，一个峰值出现在温度梯度较高一端的最适宜温湿生境条件下，而第二峰值则在极端寒冷生境里，在这种极端不良的生境中乔木层和下木层生产力和盖度都减少至零，为草本植物生长发育创造了充足的空间和光照条件。

层生产力间的关系无简单一致可遵循的模式，随温度或湿度梯度的改变，层的生产力变化多样，或表现为相互补充关系或表现为相互排斥的关系。当环境胁迫引起生产力下降时，必然会导致由生产力所决定的群落结构由复杂变为简单。Lieth等^[1]研究也得此结论。

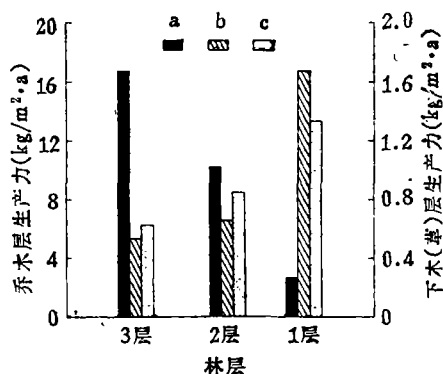


图3 鼎湖山森林层生产力

a: 乔木层; b: 下木层; c: 草本层

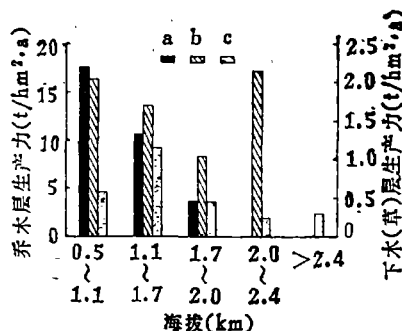


图4 长白山森林层生产力

a: 乔木层; b: 下木层; c: 草本层

2.4 物种生产力与群落结构间的关系

群落的第一性生产力是群落中所有物种生产量的总和，由于群落中各物种的数量、生物生态学特性的差异，产生了不同的物种相对产量分布格局，这决定了物种在群落中的地位与作用，同时，引起群落组成、结构和功能的改变。

图5²⁾表示长白山四种森林群落类型中主要物种生产力的变化。当红松种生产力按红松纯林、阔叶红松林、红松阔叶林及其次生阔叶林群落序列下降时，阔叶树种椴树(*Tilia amurensis* Rupr.)，柞树(*Quercus mongolia* Fisch.)，水曲柳(*Fraxinus manshurica* Pupr.)，色树(*Acer mono* Maxim.)的生产力增加。红松在群落中的地位从占绝对优势(占总蓄积的90%)→占优势(60%~70%)→占劣势(20%)→绝对零，相反阔叶树种在群落中的地位和作用逐渐升级直至发展为阔叶混交林。阔叶树种在群落中的重要程度是不同的，并随群落类型发生变化，这反映在它们种生产力的变化曲线上。

图6³⁾表示亚热带常绿阔叶林中种生产力随群落空间层的变化结果。无论是群落总生长量还是各层次的生产量，建群种青冈栎(*Cyclobanopsis glauca* Oerst)占优势(45.9%)，其次是石栎(*Lithocarpus glaber* Nakai.) (23.6%)，栲属(*Castanopsis* Spach)

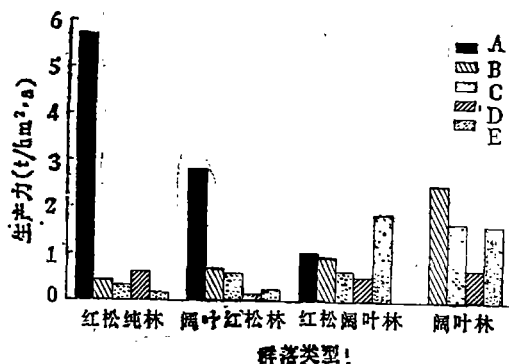


图5 种生产力随群落类型的变化

A: 红松; B: 椴树; C: 色树; D: 柞树; E: 水曲柳

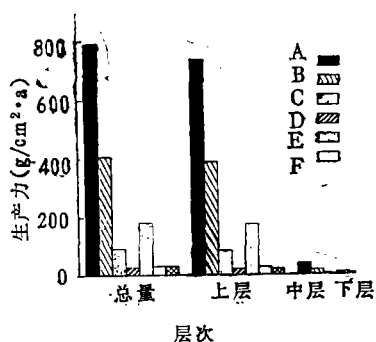


图6 种生产力随群落空间层次的变化

A: 青冈栎; B: 石栎; C: 栲属; D: 山矾属; E: 栎属; F: 豆科、蔷薇科

2) 徐振邦, 李昕, 代洪才, 等. 长白山阔叶红松林生物生产量的研究. 1985, 1~33.

3) 陈启常. 亚热带青冈栎阔叶林生态系统生产力的研究. 1988, 291~338.

(5.2%)，而落叶种(栎属(*Quercus* L.)，山矾属(*Symplocos* Jaoq.)，豆科(Leguminosae)和蔷薇科(Rosaceae)占劣势(15%)。就群落而言，常绿种生产量占绝对优势(85.1%)。这表明优势种制约着群落的结构和功能特征，并促使群落向着建种地位更突出和常绿阔叶成分更占优势的演替方向发展。

3 结 语

我国森林生产力研究起步晚，尚处在发展的稚期，存在许多问题：①生产力概念的混淆导致生产力测算方法各异；②无统一规范化的方法，造成发表的研究结果缺乏可比性；③缺少森林凋落物和地下根系产量的研究，引起估测的生产力值偏低；④研究对象主要是人工林，天然林较少，尤其在热带地区，缺少可供参考的森林生产力资料；⑤缺少不同环境梯度下和森林演替过程中生产力的动态变化研究；⑥层的生产力、物种生产力以及生产力与物种多样性和系统稳定性的关系亟待开展深入研究。

参 考 文 献

- 1 Leith H, Whittaker R H. Primary Productivity of the Biosphere. Springer-verlag, Brilin, Heidelberg, New York, 1975.
- 2 Rodin L E, Bazilevich N I. Production and Mineral Cycling in Terrestrial Vegetation. Edingburg-Oliver and Boyd, 1966.
- 3 Rodin L E, Bazilevich N I, Rozov N N (何妙光译). 世界主要生态系统的生产力. 见: 植物生态学译丛第四集. 北京: 科学出版社, 1982. 33~48.
- 4 Olson J S (沈国昉译). 森林生态系统的生产力. 见: 植物生态学译丛(第四集). 北京: 科学出版社, 1982. 83~96.
- 5 Rosezweig W L. Net primary productivity of terrestrial communities; prediction from climatological data. Ameri. Nat., 1968, (102): 67~74.
- 6 Bazilevich N I, Drozdov A V, Rodin L E. World forest productivity, its basic regularities and relationship with climatic factors. In Productivity of Forest Ecosystems, Proc. Brussels Symp. 1969. ed. Duvingaeud P. Ecology and Conservation, 1971, 4: 315~353. Paris, UNESCO.
- 7 Lieth H. Primary production: Terrestrial ecosystems. Human Ecol., 1973, (1): 303~332.
- 8 Webb W L (周瑞昌译). 美国森林、草地和荒漠生态系统的净生产量和生物控制. 见: 自然资源研究(国外生态学译文专辑). 1985. 1~31.
- 9 徐振梧, 戴洪才, 李昕. 大兴安岭主要森林类型的生物生产量. 生态学杂志, 1933, 7(增刊): 49~54.
- 10 冯林, 杨玉琪. 兴安落叶松原始林三种林型生物产量的研究. 林业科学, 1985, 21(1): 86~92.
- 11 詹鸿振, 刘传照, 刘吉春. 阔叶红松林的生物量和营养元素含量的研究. 林业科学, 1990, 26(1): 80~84.
- 12 王凤友, 王业蓬. 红松阔叶混交林森林凋落物的生态学研究(I)(II)(III). 见: 周晓峰. 森林生态系统定位研究(第一集). 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1991. 228~249.
- 13 陈大河, 周晓峰, 赵惠勤. 天然次生林四个类型的结构、功能和演替. 东北林学院学报, 1982, (2): 2~10.
- 14 张成林, 周晓峰. 天然次生白桦林生物量的研究. 见: 周晓峰. 森林生态系统定位研究(第一集). 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1991. 428~435.
- 15 刘世荣, 柴一新, 蔡体久. 落叶松人工林生态系统净初级生产力的格局与过程. 见: 周晓峰. 森林生态系统定位研究(第一集). 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1991. 419~427.
- 16 李文华, 邓坤枚, 李飞. 长白山主要生态系统生物量生产量的研究. 见: 中国科学院院长白山森林生态系统定位站主编. 森林生态系统研究(试刊第二卷). 1981. 34~50.

- 17 焦树仁. 章古台固沙林生态系统的结构与功能. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1989. 61~69.
- 18 陈炳浩, 陈楚莹. 沙地红皮云杉森林群落生物量和生产力的初步研究. 林业科学, 1980, 16(4): 268~278.
- 19 马钦彦. 中国油松生物量的研究. 北京林业大学学报, 1989, 11(4): 1~10.
- 20 沈国防, 董世仁, 聂道平. 油松人工林养分循环的研究 I. 营养元素含量及分布. 北京林学院学报, 1985, (4): 1~14.
- 21 刘志刚, 马钦彦. 华北落叶松人工林生物量及生产力的研究. 北京林业大学学报, 1992, 14(增刊1): 114~123.
- 22 姚廷涛. 京西山区油松侧柏人工混交林生物量及营养元素循环的研究. 北京林业大学学报, 1989, 11(2): 38~46.
- 23 肖瑜. 陕西省不同气候区域油松人工林生物量和生产力的比较研究. 植物生态学与地植物学学报, 1990, 14(3): 237~246.
- 24 穆天民. 贺兰山青海云杉森林群落生物量的研究. 内蒙古林学院学报, 1981, (3): 18~31.
- 25 陈存根. 秦岭华山松林生产力的研究 I. 华山松林乔木层的生物产量. 西北林学院学报, 1984, 1(1): 1~18.
- 26 汪企明, 石有光. 江苏省湿地松人工林生物量的初步研究. 植物生态学与地植物学学报, 1990, 14(1): 1~12.
- 27 江洪. 紫果云杉天然中龄林分生物量和生产力的研究. 植物生态学与地植物学学报, 1986, 10(2): 146~320.
- 28 江洪, 朱家骏. 云杉天然林分生物量和生产力的研究. 四川林业科技, 1986, 7(5): 5~13.
- 29 肖瑜. 巴山松天然林生物量和生产力的研究. 植物生态学与地植物学学报, 1992, 16(3): 227~233.
- 30 冯宗炜, 陈楚莹, 张家武, 等. 不同自然地理带杉木林的生物生产力. 植物生态学与地植物学丛刊, 1984, 8(2): 93~100.
- 31 俞元春, 姜志林. 苏南丘陵杉木人工林营养元素生物循环的研究. 南京林业大学学报, 1991, 15(增刊): 20~26.
- 32 周世强, 黄金燕. 四川红杉人工林分生物量和生产力的研究. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(1): 9~16.
- 33 张家贤, 袁承珍. 海南五针松林分生物量的研究. 植物生态学与地植物学学报, 1988, (1): 63~69.
- 34 冯宗炜, 陈楚莹, 张家武, 等. 湖南省会同县两个森林群落的生物生产力. 植物生态学与地植物学丛刊, 1982, 6(4): 257~267.
- 35 潘维涛, 田大伦, 李力村, 等. 杉木人工林养分循环的研究 (一)不同生育阶段杉木林的产量结构和养分动态. 中南林学院学报, 1981, 1(1): 1~21.
- 36 林卫江. 田林老山中山杉木人工林生产力及营养元素循环的研究. 广西农学院学报, 1991, 10(4): 27~39.
- 37 林鹏, 卢昌义. 九龙口红树林研究 I. 秋茄群落的生物量及生产力. 厦门大学学报(自然版), 1985, 24(4): 508~514.
- 38 管东生. 流溪河水库林区四个林分类型的生物量与生产力. 生态科学, 1986, (2): 45~52.
- 39 管东生. 流溪河水库森林生态系统养分元素. 热带亚热带森林生态系统, 1989, 5: 123~134.
- 40 张祝平, 彭少麟, 孙谷畴, 等. 鼎湖山森林群落的生物量和初级生产力的研究. 热带亚热带森林生态系统, 1989, 5: 63~73.
- 41 林光辉, 林鹏. 海莲、秋茄两种红树群落能量的研究. 植物生态学与地植物学学报, 1988, 12(1): 31~39.
- 42 黄全, 李意德, 黎母山热带山地雨林生物量研究. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(3): 197~206.
- 43 李意德, 曾庆波, 吴仲民, 等. 尖峰岭热带山地雨林生物量的初步研究. 植物生态学与地植物学学报, 1992, 16(4): 293~299.

*Impacts of Climate Change on Productivity of Forests
in China I. Geographic Distribution of Actual
Productivity of Forests in China*

Liu Shirong Xu Deying Wang Bing

Abstract The initial research results of the project "impacts of climate change on productivity of forests in China" was presented in the present paper. In view of the relationship between productivity and environment, the characteristics of geographic distribution of primary productivity of forests in China were analyzed by comparison, and the relationship between stratal productivity, environmental conditions, species productivity and community structure were explored. The results showed net primary productivity, annual litterfall decreased gradually with the increase of latitude and altitude, whereas a reverse trend occurred in the standing crop of litter, which is heavily determined by temperature and precipitation regimes; there was no significant difference in the standing crop of biomass among various forest vegetations distributing in different physiographical zones, but mature natural forests with a complicated structure and high species diversity usually possessed a relatively larger amount of biomass; stratal productivity exhibited different variations in reciprocal exclusions or complements under different environmental conditions; species productivity varied with community structure, and it represented its role and position within a community, and therefore determined traits and nature of a community.

Key words forests in China, actual productivity, geographical distribution

Liu Shirong, Associate Professor, Xu Deying, Wang Bing (The Research Institute of Forestry, CAF Beijing 100091).