

五台山华北落叶松人工林生物生产力 与营养元素的积累*

刘再清 陈国海 孟永庆 李建国 刘命荣

摘要 在太行五台山地区,调查华北落叶松人工林林分 16 块标准地,并测定了单株平均木各器官生物量及营养元素含量,拟合了华北落叶松林木各器官生物量随年龄变化的 logistics 生长方程。试验表明:华北落叶松立木及林分生物量年平均生长随年龄呈抛物线变化,24 年生时达到高峰,而叶片对干材的净光合同化率 18 年生时即达顶峰,约为 400 g/m^2 。15 年生林木各器官主要营养元素总积累量,从大到小顺序为 N、Ca、K、Mg、P,林分每公顷可积累以上五种营养元素的总量是 888.91 kg。N 为 406.86 kg,其中叶片中 N 积累 214.56 kg,占总 N 积累的 52.74%;干中 N 积累 54.35 kg,占总 N 积累的 13.36%。15 年生华北落叶松林分,生产 1 吨干物质即固定 N 3.5 kg;而生产 1 m^3 木材需固定 N 4.6 kg;伐倒 1 m^3 木材所消耗的 N 仅为 0.611 kg,占 1 m^3 木材需固 N 总量的 13.36%。

关键词 华北落叶松、生物量、干材生长量、养分积累

华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii* Mayr)在五台山始于解放战争初期营造,建国以后面积不断扩大,因其生长较快、耐寒性强、涵养水源功能较好,成为当地主要速生用材树种之一。关于五台山华北落叶松生物量研究目前还未见报道,为了合理利用五台山华北落叶松人工林资源,促进太行山地区生态林业建设,立题进行了该项研究。

1 试验地概况与研究方法

1.1 试验地概况

试验于 1992 年 8~9 月在山西五台山洞钱沟乡、台怀镇、马地沟等地,分别设置 16 块华北落叶松人工林标准地($20 \text{ m} \times 30 \text{ m}$)。试验区海拔高 1 600~2 000 m,平均气温 $3 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右,年降水 800 mm 以上,年均相对湿度 85% 左右,母岩为花岗片麻岩,地下水位 10 m 以上,所选标准地均为阴坡,林龄 6~27 a,林地土层厚度均大于 60 cm,立地条件较好。

1.2 研究方法

选取 16 株平均木(每标准地一株)伐倒、挖根,进行树干解析和生物量测定^[1~5]。步骤如下:①分别称叶、枝、干、皮、根鲜重;②收集各器官的样品,烘干测定含水率及叶面积指数;③测定各器官 N、P、K、Ca、Mg 营养元素含量;④取 10 株平均木做树干解析。

1994—01—31 收稿。

刘再清助理研究员,陈国海,孟永庆,李建国(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091);刘命荣(山西省五台山森林经营局)。

* 本文为“八五”国家科技攻关专题“太行山花岗片麻岩区生态林业工程模式研究”项目的部分内容。

2 结果与分析

2.1 华北落叶松人工林生物生产力

2.1.1 林木生物量与胸径、树高的相关性 从表 1 看出,华北落叶松生物量逐年累增,各器官生物量(W)与胸径(D)和树高(H)密切相关,通过几种经验回归方程[① $W=b_0(D^2H)^{b_1}$;② $W=b_0D^{b_1}$;③ $W=b_0b_1^D$;④ $W=b_0+b_1D+b_2D^2$;⑤ $W=D/(b_0D+b_1)$],采用适合性检验和相关系数比较,从中择优选出一元式 $W=b_0+b_1D+b_2D^2$ 和二元式 $W=b_0(D^2H)^{b_1}$ (见表 2)。

表 1 华北落叶松平均木不同年龄生物量 (单位:kg/株)

年 龄 (a)	胸 径 (cm)	树 高 (m)	株 数 (株)	各 器 官 生 物 量					地上部分 总生物量	全 株 总生物量
				叶	枝	干	皮	根		
6	1.8	3.0	3 300	0.7	1.01	0.471	0.193	0.4	2.37	2.77
7	1.4	2.3	3 300	0.59	0.56	0.29	0.13	1.05	1.57	2.62
7	1.5	2.5	3 300	0.63	0.60	0.216	0.478	0.453	1.93	2.38
11	5.1	5.85	2 700	0.68	1.38	3.73	0.83	1.39	6.62	8.01
11	6.3	6.0	2 700	1.0	1.67	4.81	0.42	1.66	7.90	9.56
12	10.4	7.1	2 700	4.84	9.77	15.95	3.55	7.42	34.11	41.53
12	7.65	7.1	2 700	1.78	3.64	8.39	1.86	3.41	15.67	19.08
12	8.6	7.45	2 700	2.46	4.63	10.05	2.61	4.08	19.75	23.83
14	11.4	9.5	2 700	6.18	4.98	20.82	5.09	12.12	37.07	49.19
15	8.7	8.9	2 700	3.52	2.84	9.62	2.38	6.00	18.36	24.36
15	12.3	11.5	2 450	5.3	9.39	29.14	2.56	15.16	46.39	61.55
15	9.8	10.15	2 450	2.46	4.1	19.45	1.7	9.06	27.71	36.77
16	13.1	10.7	2 450	7.66	12.77	35.48	3.08	21.22	58.99	80.21
16	15.6	9.5	2 450	18.74	31.24	42.75	3.72	34.69	96.45	131.14
25	18.0	16.0	1 560	8.13	13.57	93.54	8.14	29.55	123.38	152.93
27	21.5	16.1	1 350	4.95	21.72	115.2	10.06	31.77	132.38	164.15

表 2 平均木各器官生物量与胸径和树高的回归

生物量组成	回 归 方 程	参 数			相 关 系 数
		b_0	b_1	b_2	
叶	$W=b_0(D^2H)^{b_1}$	0.458 54	0.343 66		0.718 8
	$W=b_0+b_1D+b_2D^2$	-2.105 2	0.900 0	-0.017 5	0.785 6
枝	$W=b_0(D^2H)^{b_1}$	0.957 45	0.297 53		0.705 6
	$W=b_0+b_1D+b_2D^2$	-4.417 9	1.772 2	-0.049 0	0.700 9
干	$W=b_0(D^2H)^{b_1}$	0.037 01	0.906 50		0.996 7
	$W=b_0+b_1D+b_2D^2$	3.675 9	-2.296 3	0.357 2	0.986 6
皮	$W=b_0(D^2H)^{b_1}$	0.032 67	0.640 14		0.950 8
	$W=b_0+b_1D+b_2D^2$	0.207 1	0.034 2	0.019 4	0.946 0
根	$W=b_0(D^2H)^{b_1}$	0.355 58	0.517 14		0.953 3
	$W=b_0+b_1D+b_2D^2$	-2.353 2	0.161 6	0.027 1	0.936 1
地上部分	$W=b_0(D^2H)^{b_1}$	0.330 44	0.682 70		0.970 3
	$W=b_0+b_1D+b_2D^2$	-2.640 0	0.410 1	0.310 1	0.979 8
总计	$W=b_0(D^2H)^{b_1}$	0.580 22	0.644 03		0.979 8
	$W=b_0+b_1D+b_2D^2$	-4.993 2	1.571 7	0.337 2	0.983 3

2.1.2 单株生物量生长拟合模型 华北落叶松单株各器官生物量 25 年以前总趋势随年龄的增加而增大(见表 1),以后增长幅度下降,并趋向某个极限值,可用 Logistics 生长方程 $W=K/(1+M \times \text{Exp}(-R \times A))$ 模拟这种生物量随年龄增长的生物学规律, W 为生物量, A 代表年龄, K 、 R 、 M 为参数, R 决定曲线的变化速率, M 和 R 共同确定曲线的走势, K 为生物量增长上限,拟合方程参数值见表 3。

表 3 单株生物量 Logistics 生长拟合模型参数

生物量	M	R	L	相关系数
叶	92.962 21	0.295 598 7	9.002 201	0.861 6
枝	201.109 9	0.359 151 2	14.004 4	0.869 3
干	4024.522 0	0.450 239 0	116.603 7	0.963 0
皮	215.695 1	0.283 512 9	11.003 11	0.921 3
根	471.684 9	0.374 199 3	34.011 52	0.956 5
地上部分	982.776 5	0.407 460 6	133.695 1	0.965 6
总生物量	825.384 1	0.400 658 8	167.495 3	0.972 4

2.1.3 单株材积生长与生物量生长 表 4 可见,单株材积连年生长量 22~24 a 时达最大,年平均生长量在 25 a 后还在明显上升,而单株生物量连年生长 18 a 时最大,为 17.89 kg,以后开始下降,24 a 时下降为 6.16 kg,单株生物量的年平均生长也在 24 a 时达到顶峰为 7.11 kg,与干材积生长大约有 4~6 a 甚至更长的时间差距,根据森林经理的一般要求,预测华北落叶松在该地作为用材树种的主伐年龄应不低于 30 a。

表 4 单株材积生长与生物量生长

年龄 (a)	单株树干去皮材积生长(m ³)			单株生物量生长(kg)	
	总生长量	平均生长量	连年生长量	年平均生长	连年生长量
6	0.000 79	0.000 13	0.000 60	0.41	0.73
8	0.003 70	0.000 46	0.001 78	0.62	1.45
10	0.008 98	0.000 90	0.003 02	0.97	2.80
12	0.018 26	0.001 52	0.005 34	1.58	5.29
14	0.033 81	0.002 42	0.008 81	2.52	7.29
16	0.051 62	0.003 23	0.009 30	3.84	14.31
18	0.073 31	0.004 07	0.010 65	5.32	17.89
20	0.099 98	0.005 00	0.014 22	6.52	16.57
22	0.127 15	0.005 78	0.014 80	7.08	11.27
24	0.157 23	0.006 55	0.014 37	7.11	6.16
25	0.169 65	0.006 79	0.012 42	7.00	4.35

2.1.4 林分生物净生产力 从生物量调查和拟合方程计算可知(见表 5),林分总净生产力 24 年生时近 300 t/hm²(以 1 725 株/hm² 计,其中干材净生产力超过 180 t/hm²,约占 63.2%,从林分净生产力的年均、年间变化序列来看,林分群体净生产力的连年生长 18 a 左右最大可达 35 t/(hm²·a),年平均生长的峰值约在 24 a 左右,为 12.26 t/(hm²·a),之后迅速下降。

表 5 生物净生产力及其年均生长和年间生长 (单位:t/hm²,%)

年龄 (a)	叶		枝		干		皮		根		总净生产力		
	每公顷	百分率	每公顷	百分率	每公顷	百分率	每公顷	百分率	每公顷	百分率	每公顷	年均生长	年间生长
6	1.8	21.9	1.9	23.2	1.4	17.1	0.9	11.0	2.2	26.8	8.2	1.35	2.41
9	3.6	17.1	4.7	22.4	4.9	23.3	1.9	9.0	5.9	28.1	21.0	2.34	6.13
12	6.6	12.8	10.2	19.8	16.5	32.0	3.6	7.0	14.6	28.3	51.5	4.27	14.28
15	10.5	9.1	17.9	15.5	50.1	43.3	6.6	5.7	30.6	26.4	115.7	7.69	28.79
18	12.2	6.5	20.9	11.1	103.4	54.8	9.4	5.0	42.8	22.7	188.7	10.41	34.99
20	12.9	5.5	21.9	9.3	140.5	59.8	11.4	4.8	48.4	20.6	235.1	11.74	29.83
24	14.4	4.9	23.3	7.9	185.9	63.2	15.3	5.2	55.4	18.8	294.3	12.26	10.63
25	13.6	4.9	21.9	7.8	177.3	63.3	14.9	5.3	52.3	18.7	280.0	11.20	6.96
27	11.8	4.9	18.7	7.7	154.2	63.4	13.5	5.6	45.0	18.5	243.2	9.00	2.81

2.1.5 叶片对干材的净同化率 林分物质生产的效益高低,取决于叶量的多少和叶面积的大小,林分净生产力实质上是林分叶片的净生产量。

取 3~5 株树的混合叶样测定叶面积(S)和叶干重(W),据此计算叶面积指数及叶片对干材的净光合同化率(P): $P = \text{干材年间净生产量} / S$ 。从表 6 可知,华北落叶松林分随着林龄的增加,叶面积增大,叶片对干材的净同化率也不断增加,18 a 左右约 400 g/hm^2 ,以后逐渐降低,但叶片总面积仍随生物量的增加而增加,25 a 时叶片对干材的净同化率已低于 100 g/m^2 ,此时如采取间伐抚育、施肥等措施来改善林内光照、养分等生长条件,可以提高叶片对干材的净同化率。

表 6 不同林龄林分叶片对干材的净同化率

年 龄(a)	6	9	12	15	18	20	22	24	25	27
叶干重(kg)	0.54	1.2	2.45	4.28	6.19	7.19	7.9	8.36	8.51	8.72
叶光合面积(m^2)	2.77	6.15	12.56	21.95	31.74	36.87	40.51	42.87	43.64	44.72
干材净同化率(g/m^2)	57.76	95.93	170.38	297.49	394.14	334.96	208.10	103.34	69.66	29.74
年间干材生产量(kg/株)	0.16	0.59	2.14	6.53	12.51	12.35	8.43	4.43	3.04	1.33

2.2 华北落叶松人工林营养元素的含量积累

2.2.1 单株营养元素的含量和林分积累 表 7 表明,单株各器官营养元素含量,除干外,N 的含量较高,干中 Ca 的含量最高,两种年龄阶段(6 a 和 15 a)分别为 0.17% 和 0.29%,而叶中 N 的含量最高,为 2.38% 和 2.23%,叶中其它元素含量也较别的器官高出很多。另随年龄增大,生物积累增多,元素含量相对百分率明显下降,但林分每公顷的绝对积累却在迅速增多,如 6 年生时,林分 N 的积累为 69.79 kg/hm^2 ,15 年生时达 406.86 kg/hm^2 ,其它元素也大幅度增加,15 年生与 6 年生林分各元素每公顷积累顺序(N、Ca、K、Mg、P)基本一致。15 年生树干各元素每公顷积累公斤数 N 为 54.35、P 7.83、K 17.50、Ca 133.57、Mg 27.63,顺序为 Ca、N、Mg、K、P;而叶中 N 214.56、P 52.74、K 48.82、Ca 33.90、Mg 40.73。

表 7 营养元素单株各器官含量及林分积累

器官	年 龄(a)	N		P		K		Ca		Mg		五种元素							
		单株 (%)	每公顷积累 (kg/hm^2) (%)	单株 (%)	每公顷积累 (kg/hm^2) (%)	单株 (%)	每公顷积累 (kg/hm^2) (%)	单株 (%)	每公顷积累 (kg/hm^2) (%)	单株 (%)	每公顷积累 (kg/hm^2) (%)	单株 (%)	每公顷积累 (kg/hm^2) (%)						
叶	6	2.38	42.39	60.74	0.33	5.84	49.08	0.28	5.01	33.92	0.50	8.96	38.84	0.31	5.51	54.61	3.80	67.71	52.25
	15	2.23	214.56	52.74	0.27	25.62	43.98	0.51	48.82	39.33	0.35	33.90	16.53	0.42	40.73	43.07	3.42	363.63	40.91
枝	6	0.58	11.08	15.88	0.11	2.10	17.65	0.18	3.44	23.29	0.30	5.66	24.53	0.04	0.75	7.43	1.20	23.03	17.77
	15	0.36	58.88	14.47	0.05	8.36	14.35	0.12	19.52	15.73	0.05	8.53	4.16	0.01	2.13	2.25	0.59	97.42	10.96
干	6	0.12	1.76	2.52	0.06	0.88	7.39	0.10	1.42	9.61	0.17	2.41	10.45	0.02	0.25	2.48	0.31	6.72	5.18
	15	0.12	54.35	13.36	0.02	7.83	13.44	0.04	17.50	14.10	0.29	133.57	65.12	0.06	27.63	29.22	0.51	240.88	27.10
皮	6	0.65	5.81	8.32	0.16	1.40	11.76	0.28	2.45	16.59	0.25	2.24	9.71	0.09	0.77	7.63	1.42	12.67	9.77
	15	0.30	18.04	4.43	0.08	4.92	8.44	0.14	8.75	7.05	0.16	9.42	4.59	0.10	6.07	6.42	0.78	47.20	5.31
根	6	0.40	8.75	12.54	0.08	1.68	14.12	0.11	2.45	16.59	0.17	3.80	16.47	0.13	2.81	27.85	0.88	19.49	15.04
	15	0.22	61.03	15.00	0.04	11.53	19.79	0.11	29.53	23.79	0.07	19.69	9.60	0.06	18.0	19.04	0.50	139.78	15.72
合计	6	—	69.79	100	—	11.90	100	—	14.77	100	—	23.07	100	—	10.09	100	—	129.62	100
	15	—	406.86	100	—	58.26	100	—	124.12	100	—	205.11	100	—	94.56	100	—	888.91	100

表8 单位物质生产的营养元素积累与消耗

项 目	年 龄 (a)	营养元素积累与消耗(kg)					
		N	P	K	Ca	Mg	合计
生产 1 t 干物质	6	8.511	1.451	1.801	2.813	1.230	15.806
	15	3.516	0.504	1.073	1.773	0.817	7.683
生产 1 m ³ 木材	15	4.572	0.665	1.395	2.305	1.063	10.000
砍伐 1 m ³ 带走	15	0.611	0.088	0.197	1.501	0.311	2.708

2.2.2 单位物质生产所累积的营养元素 森林植物在生命过程中通过光合作用完成物质生产(包括木材生产)的同时,也将矿质元素在各组分和器官中累积固定。据林分每公顷营养元素积累、净生产力数据和树干解析可导出林分单

位生物、木材生产所累积(或消耗)的营养元素量(见表8)。15年生的华北落叶松林分生产1t干物质将固定N 3.516、P 0.504、K 1.073 kg;而生产1m³干材需固定N 4.572、P 0.665、K 1.395 kg;砍伐干材时仅带走N 0.611、P 0.088、K 0.197 kg,分别占1m³固定总量的13.36%、13.23%、14.12%。因此采伐时为减缓地力衰退,应尽量将枝叶根皮留于林地待分解后将养分归还林地。

3 结语与讨论

(1)华北落叶松人工林单株林木生物量随年龄变化符合Logistics生长方程 $W=K/(1+M \times \text{Exp}(-R \times A))$ 。

(2)立木各器官生物量与胸径树高密切相关,模拟选优的结果是以方程 $W=b_0+b_1D+b_2D^2$ 和 $W=b_0(D^2H)^{b_1}$ 表达较好。

(3)华北落叶松单株年平均生物量生长24a左右达高峰,而树干材积年平均生长在25a以后仍在递增,其单株生物量连年生长量最大在18a。

(4)林分生物总净生产力24a时可达300t/hm²,其中干材净生产力在180t/hm²以上,占63.2%,林分总净生产力年平均生长量最大也在24a。

(5)林分叶片对干材的净光合作用率18a时约为400g/m²,以后逐渐下降。

(6)15年生时华北落叶松林分五种主要营养元素积累888.91kg/hm²,其中N 406.86kg。每公顷树干(去皮)中积累养分总量为240.88kg,其中N 54.35kg(占总N积累的13.36%)、Ca 积累133.57kg(占总Ca积累的65.12%);每公顷林分叶片中养分积累363.63kg(占总积累的40.91%)。

(7)15年生华北落叶松林分生产1t干物质固定五种主要元素总量为7.683kg,而生产1m³木材需要固定10000kg,但砍伐1m³木材时,去皮树干仅带走五种主要营养元素2.708kg,其中N、P、K总重不足1kg,N为0.611kg。

参 考 文 献

- 1 杨继稿. 太行山立地类型分类、评价及适地适树的研究. 见:杨继稿主编. 太行山适地适树与评价研究报告集. 北京:中国林业出版社,1993. 5~52.
- 2 叶镜中,姜志林. 苏南丘陵杉木人工林的生物量结构. 生态学报,1983,3(1):7~13.
- 3 冯宗炜. 火力楠人工林生物产量和营养元素的分布. 东北林学院学报,1983,11(2):13~20.
- 4 陈章水,方奇. 新疆杨元素含量与生物量的研究. 林业科学研究,1988,1(5):535~540.
- 5 邓士坚. 杉木老龄人工林生物产量和营养元素含量的分布. 生态学杂志,1988,7(1):13~18.

Increase of Biomass and Accumulation of Nutrient Elements in *Larix principis-rupprechtii* Plantation

Liu Zaiqing Chen Guohai Meng Yenqin

Li Jianguo Liu Mingrong

Abstract 16 sample plots of *Larix principis-rupprechtii* plantation were investigated in Wutaishan Mountain region. Biomass of organs and content of nutrient elements of average trees were measured in the sample plots. Regression models of tree biomass and DBH were selected. Annual biomass increment response was simulated according to the logistics equation. The results were as follows. Biomass of tree and annual forest increment response is showed by a parabola, its peak is at the age of 24; the peak of the amount of net photosynthesis rate of needle (400 g/m^2) is at the age of 18. When this larch plantation is of 15-year-old, the order of accumulation of nutrient elements is as follows; the amount of the nutrient element accumulated (including N, Ca, K, Mg, P) are 888.91 kg/hm^2 , among which N 406.86 kg/hm^2 (including 54.35 kg/hm^2 in stems and 214.56 kg/hm^2 in needles). Besides, there are N 3.5 kg in 1 ton of dry matter and N 4.6 kg in 1 m^3 of wood, but only 0.611 kg of N was in 1 m^3 stem (accounting for 13.36% of the total), the rest of the N was in the branches, leaves, barks and roots.

Key words *Larix principis-rupprechtii*, biomass, stem growth, accumulation of nutrient

Liu Zaiqing, Assistant Professor, Chen Guohai, Meng Yenqin, Li Jianguo (The Research Institute of Forestry, CAF Beijing 100091); Liu Mingrong (Meixianshi Forest Station, Wutaishan, Shanxi Province).