

不同立地条件的杉木人工林 生产力和养分循环*

聂道平

摘要 以江西省分宜县山下林场的杉木人工林为研究对象, 分析比较了山脊(包括坡上部)、山坡、山洼(包括坡脚部分)杉木林的生产力和养分循环状况。三种生境条件下的生产力(生物量)依次为68.337、99.163、141.140 t/hm², 山脊的林木生物量仅为山洼的48.4%, 林木平均胸径仅为7.8 cm(19年生), 经济价值很低。此外, 由于山脊恶劣的水肥条件, 林木各器官中的养分含量、林分养分的吸收和循环均处于较低的水平。集水区的山洼以及坡下部林木的生产力水平较高, 达到或接近了杉木中心产区(如湖南、福建)速生丰产林分的生产力水平。养分含量、养分循环速率也较高。研究认为, 杉木分布区域中的丘陵地带, 多形成独立的或相连的凹形小集水区, 集水区之脊、坡、洼三种生境差异显著, 在林业生产中应分别对待, 坡上部及山脊应种植以保持水土恢复地力为目的的阔叶树种, 坡中下部及山洼种植经济价值较高的杉木。

关键词 杉木人工林、生物量、生产力、养分循环

杉木作为一种优良速生用材树种, 近20年来得到广泛的研究, 仅在生物生产力的养分循环方面, 就有很多重要的研究成果^[1~4], 这些研究不但丰富了有关的生态学理论, 而且对杉木人工林的经营有重要的实践指导意义。研究以定位观察数据为依据, 比较分析小集水区三种主要生境类型(山脊、山坡、山洼)杉木人工林的生产力(生物量)、生长过程、以及养分吸收和养分循环上的异同点, 为造林设计和组织生产提供科学的理论依据。

1 研究区自然概况

江西大岗山属于生产力水平较高的杉木中带中区^[5]。地貌以丘陵为主, 各相对独立的小集水区互相连接成大片低丘山地。实验小集水区位于山下林场, 南北走向, 汇水完整, 立地条件差异显著, 底部为地势平坦的肥沃潮湿型生境, 坡度约为5~8°。集水区区内栽有19年生的杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)人工林。

2 研究方法

(1) 生物量调查 林木生物量调查采用分级平均标准木法^[6]。以模型 $W = a + b(D^2 H)$

1993-01-04收稿。

聂道平助理研究员(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091)。

* 本文属林业部1986~1990年重点课题“亚热带森林生态系统定位观测研究”的部分内容。

的回归式计算林分生物量,先按径阶及株数计算后累加就得到了样地林木生物量及其在各器官中的分配。根系生物量采用全根挖掘法调查。林下植被采用样方法调查,样方面积 1 m^2 。

(2) 生物量增量与养分存留量 根据树干解析资料以相对生长法计算生物量增量。根据生物量增量乘以养分含量得到养分存留量。

(3) 营养元素分析方法 N:凯氏定氮法;P:钼兰比色法;K:火焰光度计法;Ca、Mg:EDTA容量法;pH:混合指示剂比色法;有机质:重铬酸钾法。

3 结果分析

3.1 不同立地条件下生物量的比较

不同立地条件林分生物量差别很大,山脊林分生物量仅为山坡的68.91%,山洼的48.42%(表1)。该集水区杉木干生物量比例较稳定,大致为地上生物量的61.74%,总生物量的

表1 不同部位杉木人工林的生物量及分配比

器官	山脊			山坡			山洼		
	生物量 (t/hm^2)	占地上部 (%)	占全量 (%)	生物量 (t/hm^2)	占地上部 (%)	占全量 (%)	生物量 (t/hm^2)	占地上部 (%)	占全量 (%)
干 ^①	33.628	61.78	49.20	49.474	61.47	49.89	71.257	61.96	50.49
枝	6.627	12.17	9.70	10.893	13.53	10.99	17.413	15.14	12.34
叶	7.016	12.89	10.27	8.637	10.73	8.71	9.699	8.43	6.87
新生叶	2.842	5.22	4.16	3.489	4.34	3.52	3.904	3.39	2.77
皮	6.375	11.71	9.33	9.594	11.92	9.68	14.280	12.42	10.12
果	0.786	1.44	1.15	1.884	2.34	1.90	2.358	2.05	1.67
地上部	54.432	100.00	79.65	80.482	100.00	81.16	115.007	100.00	81.48
根	1.906	25.55	20.35	18.681	23.21	18.84	26.133	22.72	18.52
总和	68.337	125.55	100.00	99.163	123.21	100.00	141.140	122.72	100.00

① 不带皮。

49.86%;随着地位指数的升高(山脊至坡至洼),枝、皮在地上部生物量和总生物量中所占的比例逐渐增高,而叶和根则逐渐降低,这说明林木在不良生境下根、叶的效率较低。山脊林分的现实生物量是依靠高密度维持的,若论平均单株生物量,山脊仅为山坡的49.79%,山洼的14.95%,这说明山脊林分不但群体总生物量很低,而且个体生物量更低,只能生产价值较低的小径材(表2)。

表2 不同生境杉木林的状况

生境	林分密度 (株/ hm^2)	平均胸径 (cm)	平均高 (m)	平均单株材积 (m^3)	平均单株生物量 (kg)	林下植被生物量 (t/hm^2)	林地枯落物量 (kg/hm^2)	林分蓄积量 (m^3/hm^2)
山脊	5333	7.8	6.90	0.0016	12.81	2.6214	3105.34	86.395
山坡	3854	10.2	10.41	0.0420	25.73	4.2200	3890.41	161.868
山洼	1647	16.1	15.85	0.1550	85.70	4.9543	3734.87	255.285

3.2 杉木的生长过程分析及其数学模型

由表3、4可见,不同部位杉木胸径生长和高生长的差异始于幼年阶段,速生阶段扩大

表3 不同生境杉木林胸径及高生长过程的比较

生境	生长量	不同年龄的胸径生长量(cm)							不同年龄的高生长量(m)						
		3	6	9	12	15	18	19	3	6	9	12	15	18	19
山脊	总生长量	0.00	1.72	3.14	4.43	5.69	6.82	7.16	0.97	2.32	3.60	4.72	5.68	6.49	6.74
	平均生长量	0.00	0.29	0.35	0.37	0.38	0.38	0.38	0.32	0.39	0.40	0.39	0.38	0.36	0.36
	连年生长量	0.00	0.57	0.47	0.43	0.42	0.38	0.34	0.32	0.45	0.43	0.37	0.32	0.27	0.23
山坡	总生长量	0.00	3.02	4.89	6.70	8.24	9.43	9.86	1.16	3.31	5.48	7.25	8.62	9.70	10.0
	平均生长量	0.00	0.50	0.54	0.56	0.55	0.53	0.52	0.39	0.55	0.61	0.60	0.58	0.54	0.53
	连年生长量	0.00	1.01	0.62	0.59	0.50	0.42	0.38	0.39	0.72	0.72	0.59	0.46	0.36	0.29
山洼	总生长量	1.21	5.89	9.40	12.1	13.9	15.1	15.5	1.50	5.75	9.81	12.6	14.2	15.2	15.5
	平均生长量	0.40	0.98	1.04	1.01	0.93	0.84	0.82	0.50	0.96	1.09	1.05	0.95	0.85	0.81
	连年生长量	0.40	1.56	1.17	0.87	0.61	0.42	0.35	0.50	1.42	1.35	0.93	0.55	0.33	0.25

表4 不同生境杉木林材积生长过程的比较

(单位: m³)

生境	生长量	年龄(a)						
		3	6	9	12	15	18	19
山脊	总生长量	0.000 00	0.000 38	0.001 83	0.004 63	0.008 90	0.014 1	0.016 12
	平均生长量	0.000 00	0.000 07	0.000 20	0.000 39	0.000 60	0.000 79	0.000 85
	连年生长量	0.000 00	0.000 07	0.000 47	0.000 95	0.001 42	0.001 76	0.001 90
山坡	总生长量	0.000 00	0.001 53	0.006 23	0.014 43	0.025 20	0.036 32	0.040 03
	平均生长量	0.000 00	0.000 26	0.000 70	0.001 20	0.001 68	0.002 02	0.002 11
	连年生长量	0.000 00	0.000 26	0.001 57	0.002 73	0.003 59	0.003 71	0.003 71
山洼	总生长量	0.000 09	0.011 18	0.042 54	0.083 27	0.121 53	0.146 83	0.154 71
	平均生长量	0.000 03	0.001 86	0.004 73	0.006 94	0.008 10	0.008 16	0.008 14
	连年生长量	0.000 03	0.003 697	0.010 45	0.013 58	0.012 72	0.008 43	0.007 88

了差异, 这个阶段立地条件的影响最大。进入干材阶段后, 径生长和高生长的差异逐渐变小以致基本没有差异。材积生长最大差异出现在幼年阶段(相对值), 以后差异逐渐减小, 但速度很慢。到19年生时, 山脊林木材积的连年生长量为山洼的24%, 山坡为山洼的47%。

根据实测数据, 用各种生长模型拟合, 结果发现模型 $H(D, V) = a(1 - e^{-cA})^b$ 最为切合实际。采用迭代法求解出各生境条件下模型的参数, 代入模型如下所示:

$$\begin{aligned}
 D_{\text{脊}} &= 12.9586(1 - e^{-0.0679A})^{1.8303} & D_{\text{坡}} &= 14.2011(1 - e^{-0.0870A})^{1.7255} \\
 D_{\text{洼}} &= 17.4689(1 - e^{-0.1510A})^{2.0657} & H_{\text{脊}} &= 9.7799(1 - e^{-0.0787A})^{1.4741} \\
 H_{\text{坡}} &= 12.2814(1 - e^{-0.1209A})^{1.9749} & H_{\text{洼}} &= 16.3499(1 - e^{-0.2125A})^{3.1787} \\
 V_{\text{脊}} &= 0.0643(1 - e^{-0.0748A})^{5.0121} & V_{\text{坡}} &= 0.0938(1 - e^{-0.0982A})^{5.0608} \\
 V_{\text{洼}} &= 0.1957(1 - e^{-0.1784A})^{6.7969}
 \end{aligned}$$

3.3 不同生境林木器官养分含量及积累量的比较

由表5可见: ①杉木的叶、当年生枝和新生球果的养分含量较高, 干、皮、根、老枝则较低。两类器官养分含量的差异以N、P、K较为显著, Ca、Mg则差别较小。②立地条件对林木器官养分含量的影响因元素而异, 立地条件越好, N、P的含量越高(皮略有不同), Ca、Mg含量越低, K则变化不大。③山脊和山坡林分积累的养分元素排序为Ca>N>

表5 不同坡位林木各器官养分的平均含量及林分养分积累量

境	器官	养分元素含量(%)					养分元素积累量(kg/hm ²)					生物量		
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	合计	(kg/株)(t/hm ²)	
山	新叶	1.120	0.096	0.634	0.661	0.284	31.840	2.731	18.021	18.774	8.063	79.429	0.533	2.842
	老叶	0.981	0.081	0.640	1.158	0.290	40.940	3.378	26.733	48.338	12.116	131.505	0.783	4.174
	新枝	0.789	0.105	0.763	0.705	0.281	8.840	1.176	8.552	7.900	3.148	29.616	0.210	1.121
	老枝	0.543	0.060	0.468	0.431	0.271	23.942	2.655	20.639	19.016	11.942	78.194	0.827	4.410
	大枝	0.261	0.020	0.173	0.356	0.093	2.865	0.217	1.897	3.905	1.014	9.898	0.206	1.096
	球果	0.853	0.045	0.784	0.943	0.205	6.705	0.355	6.158	7.410	1.612	22.240	0.147	0.786
脊	树皮	0.373	0.053	0.353	0.517	0.177	23.747	3.372	22.478	32.933	11.915	94.445	1.195	6.375
	树干	0.110	0.010	0.025	0.272	0.127	37.128	3.498	8.408	91.339	42.576	182.949	6.305	33.628
	树根	0.253	0.035	0.303	0.302	0.181	35.140	4.923	42.149	42.052	25.142	149.406	2.607	13.906
	合计						211.147	22.305	155.035	271.667	117.528	777.682	12.814	68.337
坡	新叶	0.251	0.098	0.737	0.719	0.208	43.661	3.426	25.714	25.068	7.250	105.119	0.905	3.489
	老叶	0.076	0.086	0.751	0.674	0.216	55.377	4.426	38.628	34.711	11.107	144.249	1.337	5.147
	新枝	0.881	0.087	1.004	0.739	0.233	15.208	1.495	17.334	12.755	4.020	50.812	0.448	1.726
	老枝	0.466	0.051	0.511	0.509	0.176	26.595	2.888	29.157	29.026	10.016	97.682	1.481	5.707
	大枝	0.272	0.027	0.214	0.398	0.084	9.422	0.917	7.392	13.781	2.892	34.404	0.898	3.459
	球果	0.877	0.055	0.771	0.831	0.172	16.529	1.040	14.534	15.663	3.235	51.001	0.489	1.884
洼	树皮	0.395	0.047	0.402	0.527	0.140	37.935	4.528	38.568	50.560	13.384	144.975	2.489	9.594
	树干	0.110	0.011	0.039	0.210	0.080	54.518	5.244	19.195	103.941	39.479	222.377	12.837	49.472
	树根	0.266	0.037	0.037	0.305	0.217	49.633	6.986	6.968	56.937	40.610	161.134	4.847	18.680
	合计						308.878	30.950	197.490	342.442	131.993	1011.75	25.230	99.163
山	新叶	1.523	0.140	0.658	0.642	0.176	59.470	5.481	25.700	25.079	6.859	122.589	2.370	3.904
	老叶	1.244	0.103	0.584	0.642	0.145	72.083	5.974	33.843	37.180	8.378	157.478	3.518	5.794
	新枝	1.000	0.119	0.923	0.655	0.249	22.416	2.663	20.696	14.699	5.583	66.057	1.362	2.242
	老枝	0.578	0.092	0.492	0.569	0.168	27.221	4.321	23.158	26.769	7.917	89.386	2.858	4.707
	大枝	0.272	0.035	0.124	0.321	0.087	28.480	3.683	12.953	33.628	9.061	87.805	6.353	10.463
	球果	0.933	0.065	0.831	0.773	0.157	21.997	1.538	19.608	18.228	3.705	65.075	1.432	2.358
洼	树皮	0.434	0.072	0.248	0.500	0.131	61.928	10.309	35.469	71.452	18.748	197.906	8.670	14.279
	树干	0.108	0.011	0.027	0.214	0.141	76.813	7.981	19.524	152.771	100.398	357.487	43.263	71.255
	树根	0.273	0.039	0.041	0.299	0.236	71.366	10.244	10.803	78.056	61.619	232.088	15.867	26.132
	合计						441.774	52.194	201.754	457.862	22.268	1375.85	85.695	141.14

K>Mg>P, 但山洼处是Mg比K高。④林分积累的元素总量为山洼>山坡>山脊。山洼处林木积累的N、P、Mg所占比例高于山坡和山脊, K、Ca则相反, 因此N、P、Mg可能是影响山坡和山脊林木生产力的主要营养元素。⑤林木器官积累的养分元素, 山脊为叶>干>根>枝>果, 山坡为叶>干>枝>根>果, 山洼为干>叶>枝>根>果。

3.4 林分的养分循环

3.4.1 林分生物量和养分积累速率 由于山脊林木保留密度很高, 虽然环境条件恶劣, 但林木总的生物量增量并不低, 生物量的增长率(生物量增量/总生物量)为山脊>山坡>山洼。营养元素的年积累量为山洼>山坡>山脊, 这是因为富养生境下新生器官的养分含量略高于贫养生境, 尤其是N、P、Mg元素(表6)。

表6 杉木林营养元素积累速率

生境	器官名称	生物量增量 (t/hm ²)	营养元素积累量[kg/(hm ² ·a)]					合计
			N	P	K	Ca	Mg	
山脊	干	5.532	6.661	0.631	1.438	15.026	7.004	30.759
	枝	0.478	3.771	0.502	3.648	3.370	1.343	12.634
	叶	0.433	4.851	0.416	2.746	2.860	1.228	12.102
	果	0.672	5.733	0.304	5.266	6.336	1.379	19.017
	根	1.134	4.000	0.515	4.572	3.430	2.268	14.785
	合计	8.250	25.016	2.367	17.670	31.021	13.222	89.295
山坡	干	6.372	7.022	0.675	2.472	13.388	5.085	28.642
	枝	0.732	5.352	0.524	6.222	4.392	1.391	17.881
	叶	0.781	9.778	0.703	5.782	5.470	1.602	23.336
	果	0.984	8.635	0.543	7.593	8.183	1.690	26.644
	根	1.342	4.832	0.636	0.635	4.080	2.684	12.868
	合计	10.212	35.619	3.082	22.705	35.512	12.452	109.371
山洼	干	5.723	6.169	0.641	1.568	12.270	8.064	28.712
	枝	0.811	6.382	0.820	5.680	4.868	1.633	19.383
	叶	0.890	12.672	1.158	5.619	5.716	1.445	26.608
	果	1.211	10.981	0.790	10.066	9.349	1.900	33.085
	根	1.458	3.977	0.571	0.602	4.354	3.440	12.944
	合计	10.093	40.181	3.979	23.535	36.557	16.481	120.732

3

4.2 林分营养元素归还量 根据林地累积的枯落物量和实测的林地枯落物分解速率, 计算得到了三个部位林分的养分归还量(表7)。山脊不仅枯落物积累少, 分解速率也较小, 因而归还量最低。

表7 不同坡位杉木林地枯落物的分解归还养分量 [单位: kg/(hm²·a)]

生境	枯落物量 (kg/hm ²)	分解速率 (%)	干重损失 [kg/(hm ² ·a)]	分解释放养分量					合计
				N	P	K	Ca	Mg	
山脊	3105.34	18.23	566.10	3.251	0.048	0.561	2.286	0.724	6.870
山坡	3890.41	19.57	762.13	5.306	0.084	1.061	3.361	1.150	10.962
山洼	3734.87	26.87	1003.56	8.033	0.121	1.432	4.405	1.445	15.436

3.4.3 营养元素的生物循环 表8计算了三个部位森林生态系统养分循环的各个参数(包括林下植被的循环量)。山脊无论是养分累积量还是养分的吸收、存留、归还量均明显低于山坡和山洼, 循环速率也较低。不同元素的循环速率差别较大, 其中N循环最快, 而Mg最慢。本研究的养分归还量和循环速率较低^[1~4]是因为未包括雨水淋洗的量。

表8 杉木人工林生态系统营养元素生物循环平衡

生境	元素	营养元素累积量(kg/hm ²)				平衡参数			循环速率	
		林木	林下植被	枯落物	合计	土壤	吸收	存留	归还	(归还/吸收)
山脊	N	211.147	19.188	23.967	254.302	5 165	44.059	33.101	10.958	0.249
	P	22.305	1.495	1.738	25.538	2 582	3.375	2.913	0.462	0.137
	K	155.035	11.261	2.311	168.607	60 157	25.030	20.688	4.342	0.173
	Ca	271.667	11.026	15.154	297.847	24 704	40.909	35.012	5.897	0.144
脊	Mg	117.528	4.548	6.602	128.678	29 384	16.464	14.478	1.986	0.121
	合计	777.682	47.518	49.772	874.972	121 992	129.636	106.191	23.645	0.182
山坡	N	308.878	27.970	30.026	366.874	6 718	63.303	42.767	20.536	0.324
	P	30.950	1.955	2.173	35.078	3 054	4.446	3.579	0.867	0.195
	K	197.490	13.471	2.895	213.856	75 062	31.803	25.539	6.264	0.197
	Ca	342.442	13.326	18.985	374.753	26 982	48.062	38.591	9.471	0.197
坡	Mg	131.993	6.563	8.271	146.827	29 318	16.822	13.678	3.144	0.186
	合计	1 011.753	63.285	62.350	1 137.388	141 134	164.437	124.155	40.282	0.245
山洼	N	441.774	48.775	28.826	519.375	9 346	89.533	47.086	42.506	0.475
	P	52.192	3.299	2.091	57.582	4 419	6.649	4.555	2.094	0.315
	K	201.754	18.721	2.779	223.254	75 346	38.177	25.407	12.770	0.334
	Ca	457.862	15.591	18.226	491.679	29 885	52.720	39.816	12.904	0.245
洼	Mg	222.268	7.943	7.940	238.151	32 029	20.831	17.553	3.278	0.157
	合计	1 375.851	94.329	59.862	1 530.042	151 025	207.968	134.416	73.552	0.354

4 结 论

(1) 集水区之脊、坡、洼处的生产力水平差别很大, 山脊、山坡、山洼处的林木生物量分别为68.337 4、99.162 9、141.140 3 t/hm², 前者仅为后者的48.4%, 如以林分的平均水平比较, 前者的平均单株生物量仅是后者的14.95%。由此可知山脊部位显然不适合杉木生长, 应考虑种植改良土壤保水保土的阔叶树种。坡的下部及山洼处19年生时平均胸径达16.1 cm, 高达15.5 m, 与湖南、福建高生长力的杉木林相当^[3], 应种植杉木。

(2) 立地条件对杉木生长的影响始于幼年阶段(1~4), 在速生阶段达到最大。以后渐小。

(3) 杉木的生长过程(径、高、材积)可用 Von Bentalanffy-Richard 生长模型: $H(D, V) = a(1 - e^{-cA})^b$ 拟合, 无论是山脊还是山洼, 效果均较好。

(4) 林分积累的元素总量山洼>山坡>山脊。积累的元素量按 Ca>N>K>Mg>P 排序。养分元素在各器官中的积累量, 山脊为叶>干>根>枝>果, 山坡为叶>干>枝>根>果, 山洼为干>叶>枝>根>果。

(5) 山脊、山坡、山洼三个部位中, 营养元素的积累速率(存留)、归还量、吸收量以及循环速率均是山洼>山坡>山脊。不管是那个部位均以N的循环速率最高, Mg最低。

参 考 文 献

- 1 冯宗炜. 亚热带杉木纯林生态系统中营养元素的积累、分配和循环的研究. 植物生态学报和地植物学丛刊, 1985, 9(4): 245~255.
- 2 潘维铸, 田大伦, 李利村, 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.
- 3 潘维铸, 田大伦, 李利村, 等. 杉木人工林养分循环的研究(二). 中南林学院学报, 1983, 3(1): 1~17.
- 4 温肇穆, 梁宏温, 黎跃. 杉木成熟林乔木层营养元素生物循环的研究. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(1): 36~45.
- 5 南方十四省(区)杉木栽培协作组. 杉木地理分布及主要商品材基地规划建设. 林业科学, 1981, 17(2): 134~144.
- 6 木村允(姜恕译). 陆地植物群落的生物量测定法. 北京: 科学出版社, 1981.

A Comparison of the Productivity and Nutrient Cycling of Chinese Fir Plantation in Different Site Conditions

Nie Daoping

Abstract The productivity and nutrient cycling of 19-year-old Chinese fir plantations in different site conditions were studied in a small watershed located in Fenyi County, Jiangxi Province. The watershed was divided into three parts: ridge, slope and foot of a hill, for which soil physical and chemical properties were completely different. Significant differences in productivity and nutrient cycling were found under these site conditions. Main conclusion is as follows:

1. The tree biomass in ridge, slope and foot, was 68.337 t/ha, 99.1629 t/ha, 141.1403 t/ha, respectively. The tree biomass at the ridge was 48.4% of that at the foot, and the average individual biomass of the ridge was only 14.95% of that at the foot. That means the ridge is not suitable for the growth of Chinese fir.

2. The effect of site condition on growth begins from infant stage(1~4) and arrives the biggest in fast growing stage (5~12), then gradually declines.

3. The amount and rate of element accumulation, return, absorption and cycling follow the order: ridge's < slope's < foot's. And on any site conditions the cycling rate of N was always the highest and Mg the lowest.

Key words Chinese fir, plantation, biomass, productivity, nutrient cycling

Nie Daoping, Assistant Professor (The Research Institute of Forestry, CAF Beijing 100091).