

长白山红松阔叶林的生物养分循环*

程伯容 丁桂芳 许广山 张玉华

(中国科学院林业土壤研究所)

摘 要

本文对东北长白山红松阔叶林的生物量, 营养元素分布和养分循环进行研究, 结果表明: 该地每公顷生物量约为 211 吨, 其中地上部分生物量占 82%, 地下部分占 18%, 而年生产量每公顷为 7.087 吨。

该林分地上部分生物量的氮、磷、钾、钙和镁分别为每公顷 618.6、56.47、511.82、1057.95 和 75.85 公斤, 而年生物量的氮、磷、钾、钙和镁分别为每公顷 78.58、7.72、45.80、84.51 和 13.97 公斤。

凋落物在养分循环中起着重要作用, 在从土壤年吸收的养分中, 大量养分通过凋落物又归还土壤。

通过计算看出, 生产 1 吨乔木生物量, 红松需要消耗氮、磷、钾、钙和镁分别约为 9、1、3、4 及 1 公斤, 而阔叶树需要消耗上述养分分别约为 16、1、9、17 及 4 公斤。

森林生态系统中有特殊的林冠层和森林死地被物层, 有独特的养分自我调节作用, 揭示一个地区森林生态系统的养分分布, 养分平衡和年生产量的养分要求, 是森林生态系统研究的重要环节。

随着木材消耗的不断增长, 一些森林改良措施, 如施肥正在应用于提高木材生产, 显然, 这些措施也都影响到林地的养分循环, 需要植物养分分布和循环的资料。

在我国东北林区, 红松、阔叶林是主要的森林类型。在这个地区, 曾有过土壤方面的研究, 以及土壤与林木生长关系方面的报道^[1-4]。本文目的就是阐明长白山北坡自然保护区红松阔叶林营养元素分布特点和生物养分循环情况, 为森林生态系统研究和森林管理提供参考。

一、自然地理条件和研究工作方法¹⁾

(一) 自然地理条件: 采样地点位于吉林省安图县二通白河乡 1 号标准地, 它是长白山自然保护区的一部分, 该地地形平坦, 属受季风影响的温带大陆性山地气候。海拔高 740 米; 年平均温度 0.9—3.9℃, 年平均降水量 632.8—782.4 毫米; 年总辐射 121.76—123.18 千卡/厘米²/年; 土壤为暗棕色森林土; pH 5.3—5.6 (0—5 cm 深度, 水浸)。

* 本文中生物量资料由中国科学院林土所采伐更新组提供, 特此致谢。

1) 本文气象资料引用 1981 年迟振文、张凤山等材料。

采样地点林木组成情况: 红松 (*Pinus koraiensis*) 104 株, 平均胸径 28.1 厘米, 平均树龄 120 年; 色木 (*Acer mono*) 77 株, 平均胸径 21.0 厘米, 平均树龄 177 年; 椴树 (*Tilia amurensis*) 68 株, 平均胸径 31.9 厘米, 平均树龄 140 年; 榆树 (*Ulmus mongolica*) 13 株, 平均胸径 38.8 厘米, 平均树龄 198 年; 水曲柳 (*Fraxinus mandshurica*) 38 株, 平均胸径 52.9 厘米, 平均树龄 245 年; 柞树 13 株, 平均胸径 44.5 厘米, 平均树龄 178 年。灌木有东北溲疏、假色槭、五角枫、青楷槭和毛榛子等。草本包括苔草、蕨类、山茄子和美汗草等。

(二) 工作方法: 生物量都在长白山 1 号标准地红松阔叶林测定。

林木的主干部分采用解析法求其材积, 再用容重法求其重量。树枝生物量, 先以 10 个标准枝进行曲线拟合, 再根据 $W_b = a_1 D_b^{b_1}$ (a_1, b_1 为常数), 求其树枝干重、叶干重 W_L 与枝底径 D_b 也呈指数曲线相关, 可用 $W_L = a_2 D_b^{b_2}$ (a_2, b_2 为常数) 求其整株叶重。

下木地上部生物量, 是在标准地周围机械设制的 10 块 (5×5) m² 样方内, 将胸径在 8 厘米以下下木全部割下, 称重求得。

草本植物地上部生物量在 20 块 (1×1) m² 样方内测定。

林分凋落物量, 是在 1 公顷林地内设立的 10 个 (1×1) m² 收集盘收集的。

以上测定工作主要在 1983 年 9 月上中旬进行。

二、林分干物质的分布

(一) 林分总生物量和乔灌木比例

长白山红松阔叶林的总生物量均为 211 吨/公顷, 其中乔木占 81%, 灌木占 0.9%, 草本占 0.12%。在乔木生物量中, 红松生物量和阔叶树生物量约各占 18% 及 82% (表 1)。

表 1 长白山红松阔叶林的生物量 (吨/公顷)

Table 1 The biomass in the Korean pine-broad leaved forest of the Changbai Mountains (ton/ha.)

组 分 Components		叶 Foliage	枝 Branch	干 Stem	皮 Bark	小计 Total	%
乔木	红松	1.268	5.920	20.915	2.718	30.821	14.61
	阔叶树	2.129	36.309	89.334	12.263	140.035	66.38
小 计		3.397	42.229	125.230	14.981	170.856	81.00
灌 木		0.247	0.590	1.065	—	1.903	0.90
草 本		—	—	—	—	0.243	0.12
他(果实等)		—	—	—	—	0.556	0.26
地上部分		—	—	—	—	173.558	82.28
地下部分		—	—	—	—	37.386	17.72
总 计		—	—	—	—	210.944	100.00

从商品观点看, 在乔木生物量中, 树干是最有经济价值的部分, 约 125 吨/公顷, 占林分总生物量的 59%。

根系重量为 37.386 吨/公顷, 占总生物量的 17.72%, 根系分布极大部分都在 20 厘米以上。

(二) 林分年生产量

本林分年生产量总计为 7.087 吨/公顷 (表 2), 其中红松约占 14.7%, 阔叶树约占

表2 红松阔叶林的年生产量(吨/公顷)

Table 2 Annual productivity of Korean pine-broad leaved forest (ton/ha)

组分 Components		叶 Foliage	枝 Branch	干 Stem	皮 Bark	小计 Total	%
乔木	红松	0.491	0.154	0.351	0.046	1.042	14.70
	阔叶树	2.129	1.300	0.764	0.114	4.307	60.77
小计		2.620	1.454	1.115	0.160	5.349	75.48
灌木		0.021	0.049	0.089	—	0.159	2.24
草本		—	—	—	—	0.243	3.43
其他(果实等)		—	—	—	—	0.556	7.85
地上部分		—	—	—	—	6.307	88.99
地下部分		—	—	—	—	0.780	11.01
总计		—	—	—	—	7.087	100.00

60.8% (包括根系)。

从年生产量看出,每年每公顷只能生产树干1吨左右。这说明,自然林的生产量是很低的。成俊乡等(1963)研究对比东北林区人工林与天然林红松的生产量,曾认为在相似的立地条件下,人工林红松比天然林红松生长快的多^[3]。

本林地乔灌木叶生物量为3.644吨(表1),而叶的年生产量达2.641吨(表2),叶生产量是很高的。由于红松阔叶林是成熟林,果实量较大,在计算年生产量时也估计在内。

草本植物年生产量为0.243吨,数量不大。

(三) 年凋落物量

每年植物产生的凋落物,可以通过收集盘直接收集,这类凋落物对于土壤腐殖质性质有很大影响,可供森林生态系统的动态研究。

按测定,在1980—1982年,年凋落物总量为3837.5公斤/公顷,其中各组成部分的重量和比例如表3。

表3 1980—1982年红松阔叶林地凋落物总量及其各组分比例

Table 3 Total amount of litter and the percentage of various components of litter under Korean pine-broad leaved forest during 1980—1982

凋落物类型 Litterfall type	凋落物量(公斤/公顷) Amount of litter (Kg/ha)	%
阔叶	1862	48.51
针叶	575	14.99
枝	963	25.09
果实及其他	438	11.41
合计	3838	100.00

由表看出,叶凋落物在总凋落物中占的比例较大,占总凋落物量的63.5%,这些叶凋落物在地表形成一个松软的地被物,对土壤生物和土壤肥力性质有很大积极作用。

上述凋落物量是指设立在距地面60厘米收集盘收集的,实际上全部残落物数量还要大些,因为枯萎的草本植物以及根系残体和部分树皮凋落物都没有包括在内。

(四) 土壤中有有机质

一般认为, 针阔混交林比纯针叶林具有较好的土壤生态条件, 有利于土壤生物和土壤微生物进行有机质分解。

土壤有机质是林分中残落物经过土壤生物和土壤微生物逐渐分解的产物, 红松、阔叶林林地有机质在土壤剖面中分布的数量为: 死地被物层 14.68 吨/公顷; 0—6 厘米 32.15 吨/公顷; 6—27 厘米 19.93 吨/公顷; 27—60 厘米 28.64 吨/公顷。很明显, 土壤中有有机质主要集中在死地被物层和矿质土表层 (0—6 厘米)

(五) 生物量的平衡

测定时期的生物量是决定年生产量的基础, 但准确地算出年生产量和残落物损失量比较测定一定时期生物量更为困难。因为准确地估测林分残落物损失量很不容易。

本文计算, 主要把收集盘收集的凋落物和草本植物生物量列入残落物损失量, 其他如脱落的树皮, 动物和昆虫对生物量造成的破坏等都没有包括在内。幸好这些年残落物损失量比重还不太大, 表 4 说明, 即使在成熟林, 年生产量都大于残落物损失量。

表 4 也说明, 红松阔叶林每年生物量实际上约增加 1%。生物量和死有机质分别为 68% 和 32%。很显然, 生物量和死有机质的比例, 随林分成熟度而不同, 和幼林比较, 成熟林生物量的比例要大些。

表 4 红松阔叶林生物量的年变化 (吨/公顷)

Table 4 Annual variation of biomass in Korean pine-broad leaved forest (ton/ha)

项 目 Item	生物量 Biomass	%
测定开始时生物量	210.944	100
年总生物量	7.087	3.36
年凋落物损失量	4.461	2.11
年净生产量	2.626	1.24
测定结束时生物量	213.570	101.24

三、养分分布

(一) 土壤中养分储量

林地生产力高低与土壤肥沃程度, 或土壤中养分多少密切相关, 但主要是土壤中对植物有效的养分数量。

土壤养分数量是由细粒土壤 (<1.0 mm) 测定的, 但土壤中石块占有一定空间, 也计算在内。

表 5 说明, 林地土壤有效性 N, P, K, 每公顷分别为 300, 25, 890 公斤, 表层土壤有效性 N 占总 N 的 0.7%。与长白山北坡海拔较高的杜香落叶松林和岳桦云冷杉林比较, 本林地土壤有效性养分是比较高的。

雨水能带给土壤养分, 同时, 由于土壤的淋溶作用, 也有些养分流失, 本次研究中这两

表 5 林地土壤的养分含量(公斤/公顷)
Table 5 Nutrient content of forest soil (kg/ha)

深度 (cm) Depth	总 N Total N	可吸收的养分 Available nutrients		
		N	P	K
0—6	4403	30	25	135
6—27	2293	147	—	177
27—60	3604	123	—	578

项没有包括在内。

土壤酸度影响土壤中生物活性,也影响土壤营养元素的有效性,本林地表层土壤的 pH 值为 5.4 左右, C/N 为 4.2—5.1, 比北坡云冷杉林低,说明该地土壤肥力较高。

(二) 植物中养分

在森林生态系的营养库中,有大量养分保存在乔木部分。不同树种,或同一树种的不同组分,其养分含量都是不同的。本林地针叶树叶比较阔叶树叶的养分低,在同一树木各组分中,树干养分含量最低,树叶最高。

由表 6 看,乔木生物量中保存有大量养分。乔木地上部分的 N, P, K, Ca 和 Mg 含量分别为 602.88, 54.32, 498.20, 1038.12 及 71.63 公斤/公顷。在同一林地,阔叶树叶 N 含量相当于红松叶 N 含量的 1.5 倍。在同一林木中,叶养分含量最高,可为树干养分含量的 10—25 倍(如柞树叶 N 含量为 2.6%, 而其树干 N 只有 0.16%)。

草本植物在本林地也很茂盛,但其分布与光照有关,在林下时常成不均匀分布。灌木和草本地地上部分的 N, P, K, Ca 和 Mg 总数分别为 15.72, 2.15, 13.62, 19.83 及 4.22 公斤/公顷(表 7)。其中草本植物中 K 的百分含量,都比灌木为高,草本植物 K 含量时常相当于灌木叶 K 含量的 3—4 倍。

表 6 红松阔叶林乔木中养分数量(公斤/公顷)
Table 6 Nutrient content of trees in Korean pine-broad leaved forest (kg/ha)

组 分 Components		N	P	K	Ca	Mg
红松	叶	20.69	1.55	6.33	5.39	1.78
	枝	26.76	1.90	6.86	36.10	3.50
	干	17.57	0.83	12.34	14.22	2.51
	皮	9.13	0.60	5.09	12.38	1.19
阔叶树	叶	46.19	4.32	24.72	54.11	8.45
	枝	296.28	37.37	129.11	463.43	28.83
	干	129.76	5.07	237.25	213.32	17.91
	皮	56.50	2.68	76.50	239.18	7.46
地上部分		602.88	54.32	498.20	1038.12	71.63
根系 (>1.0cm)		120.20	17.90	90.81	117.52	30.98
根系 (<1.0cm)		77.85	11.91	51.59	63.22	31.14
地下部分		198.05	29.81	142.40	180.74	62.12
总计		800.93	84.13	640.60	1218.86	133.75

表 7 灌木和草本的养分数量 (公斤/公顷)

Table 7 Nutrient amount of shrubs and herbs (kg/ha)

植物种类 Plant type	N	P	K	Ca	Mg
灌木	11.86	1.45	5.11	17.36	3.05
草本	3.86	0.70	8.51	2.17	1.17
地上部分	15.72	2.15	13.62	19.83	4.22
地下部分	10.45	1.64	8.69	7.96	3.47
总计	26.17	3.79	22.31	27.79	7.71

(三) 凋落物中养分

在植物吸收的养分中, 有相当数量的养分通过凋落物归还土壤。从养分循环的观点看, 叶凋落物显然是凋落物中最为重要的部分, 但由于林木内部的养分转移, 叶凋落物中 N, P, K 含量都比较新叶含量低。按这次测定, 凋落物中养分数量 N, P, K, Ca 和 Mg 分别为 43.50, 3.70, 13.45, 56.30 及 10.91 公斤/公顷。在红松阔叶林中, 阔叶凋落物营养元素都比较针叶凋落物为高, 特别是 Ca 尤为显著(表 8)。阔叶的 Ca 含量常相当于针叶的 4—5 倍。

表 8 红松、阔叶林凋落物的养分 (公斤/公顷)

Table 8 Nutrient content of litter from Korean pinebroad leaved forest (kg/ha)

凋落物	N	P	K	Ca	Mg
阔叶	21.00	1.94	9.45	43.45	6.29
针叶	4.69	0.35	1.44	2.45	0.81
枝	6.58	0.52	1.76	9.60	0.54
果实及其他	11.23	0.89	0.80	0.80	3.27
合计	43.50	3.70	13.45	56.30	10.91

四、林分养分循环

(一) 生态系统中的养分循环

存在于生物循环中的养分, 或即将进入生物循环中的养分, 在生态系统中形成一个流动的营养库。凡是在生态系统中的植物、动物、森林死地被物和土壤之间的养分转移都包括在生物养分循环之中。但腐殖质的矿化作用可能进行得很缓慢, 在矿质土壤中养分只有代换性阳离子才能算作活动性养分。

从表 9 看出, 本林分生物养分循环中的 N 素, 只有 7.3% 保存在生物量中。在矿质土中有效性 N 只占总 N 的 2.9%。

在森林生态系统中, 由于淋洗作用和森林采伐等使养分数量时常变动, 土壤淋洗和森林采伐造成的养分损失, 大气降水和母质风化可以获得部分补偿。

(二) 林分的年养分平衡

在研究养分的生物循环时, 植物的年养分需要量是一个重要部分。

表 9 养分循环中 N 的分布情况 (公斤/公顷)

Table 9 N distribution in nutrient cycling (kg/ha)

组 分 Components	N
生物量	827
死地被物	163
矿质土壤	
0—6 cm	4403
6—27 cm	2293
27—60 cm	3604
合 计	11290
保存在生物量中的 N(%)	7.3
土壤有效性 N 占总 N 的 %	2.9

表 10 植物各部分年生产量的养分数量 (公斤/公顷)

Table 10 Nutrient content in annual biomass of various parts of plant (kg/ha)

组 分 Components	N	P	K	Ca	Mg
叶	53.85	4.87	26.92	54.51	8.99
枝	10.93	0.91	4.66	16.91	1.13
干	1.25	0.06	1.30	2.05	0.17
皮	0.56	0.03	0.45	2.01	0.07
根系	2.10	0.30	0.16	2.00	0.30
乔木	68.69	6.17	33.49	77.48	10.66
灌木	1.05	0.13	0.49	1.50	0.28
草本	8.84	1.42	11.82	5.53	3.03
总计	78.58	7.72	45.80	84.51	13.97

在总养分需要中不同养分在乔木、灌木和草本中的百分率

Percentages of different nutrients in trees, shrubs and herbs in total amount of annual nutrient requirements

乔木%	87.41	79.92	73.12	91.68	76.31
灌木%	1.34	1.69	1.07	1.78	2.00
草本%	11.25	18.39	25.81	6.54	21.69

生产一吨干物质所需养分量(公斤/吨)

Nutrient amount required for producing one ton of dry matter (kg/ton)

红 松	8.92	0.67	2.97	3.57	0.93
阔叶树	15.50	1.21	9.24	16.82	3.66
灌 木	6.21	0.77	2.90	8.88	1.66
草 本	14.18	2.28	19.00	8.88	4.86

生产一立方米树干所需养分量(公斤/立方米)

Nutrient amount required for producing 1m³ of timber (kg/m³)

红 松	13.55	1.02	4.51	5.43	1.42
阔叶树	58.77	4.57	35.04	63.79	13.90

从表 10 通过年生产量养分的计算可以看出,植物各部分年生产的养分需要量, N, P, K, Ca 和 Mg 每公顷约分别为 79, 8, 46, 85 和 14 公斤/公顷。这个需要量即使和土壤中有效性养分(表 5) 相比,也是只占不多的一部分。其中草本植物在生物量中比重较小,在养分消耗方面并不少,特别是 K, 从 1 吨干物质所需养分量看,草本植物所需 K 量相当于乔木的 2—6 倍。

很明显,针叶树和阔叶树在养分消耗方面有很大差异。从生产 1 吨干物质看,红松所需养分量只占阔叶树所需养分量的半数或更低,从生产 1 立方米树干看,红松所需养分更不及阔叶树所需养分的半数。

乔木年养分需要情况,可以从乔木每年从土壤中吸收养分,乔木保持养分以及归还土壤的养分来说明(表 11)。在本研究中,乔木年养分需要量,是用乔木年生产养分量和通过凋落物归还土壤养分量之和来计算的,土壤吸收的养分量是估测的,因为在雨水的淋洗下,有一些元素可能从树冠淋洗掉,在这次研究中,这些没有计算。

表 11 乔木年养分的吸收和归还 (公斤/公顷)

Table 11 Annual uptake and return of nutrient by trees (kg/ha)

组 分 Components	N	P	K	Ca	Mg
乔木从土壤中吸收的养分	112.19	9.87	46.94	133.78	21.57
乔木保存的养分	68.69	6.17	33.49	77.48	10.66
凋落物归还养分	43.50	3.70	13.45	56.30	10.91
归还养分占吸收养分的%	39	38	29	42	51

从乔木年养分的吸收和归还看出(表 11),本林分通过凋落物归还土壤的养分数量是很高的,而其中 Ca 和 Mg 数量更高。这可能与树龄和内部养分转移有关。Mälkönen¹⁶¹ (1974) 研究北欧赤松表明,凋落物归还土壤养分量随树龄增大而增加,通过他的研究也说明,在叶子变黄凋落以前, N, P, K 要进行内部养分转移,而 Ca 不进行转移,于是凋落物中 Ca 含量较高。

从红松阔叶林生物量的年变化(表 4),可以计算年养分的平衡情况(表 12)。表中年净生产量养分是说明年实际需要的养分量。

表 12 红松阔叶林的年养分平衡 (公斤/公顷/年)

Table 12 Annual nutrient balance in Korean pine-broad leaved forest (kg/ha/yr)

组 分 Components	N	P	K	Ca	Mg
测定开始时期生物量的养分	827.10	87.92	662.91	1246.65	141.46
年总生产量养分	78.58	7.72	45.80	84.51	13.97
年凋落物损失养分	52.34	5.12	25.27	61.83	13.94
年净生产量养分	26.24	2.60	20.53	22.68	0.03
测定结束时生物量养分	853.34	90.52	683.44	1268.68	141.49

用年净生产量养分与该林地土壤养分(表 5) 进行对比,可以看出,土壤中有效性 N, P, K 量都是足够植物应用。

五、讨 论

红松阔叶林是我国东北林区主要的森林类型,这种森林能够长期在自然界存在而不使土壤肥力减退,是和特殊的森林结构有关,同时也是和这种森林结构下的物质循环过程有着密切联系。

上述研究说明,森林植物能够保存大量营养元素,但凋落物又还给土壤大量养分,以便重新使用,因此,许多营养元素可以周转地多次使用,而森林生产主要只是树干的生长。

不同的森林类型,都是其特殊的循环过程。红松阔叶林是一种针阔混交林,它的凋落物分解速度比纯红松林的快,其凋落物归还土壤的养分也比纯红松林的多,阔叶凋落物比红松叶凋落物养分含量要大4—18倍,这种针阔混交林养分循环特点可能有利于红松生长;从另一方面看,也说明为了适应优良树种红松的良好生长,我们需要选择肥力较高的立地条件,才能满足需要。

草本植物在养分循环中也起一定作用。虽然草本植物年生产量只占总年生产量的3.4%,但在总年养分需要中,草本植物养分需要量却可占7—26%。

还有,这次样点是在自然保护区内,虽然土壤肥力较高,由于缺乏科学的森林抚育和管理,年生产量并不大,这说明为了提高森林生产率,进行科学的管理十分重要。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院林业土壤研究所, 1980: 中国东北土壤。69—82页, 科学出版社。
- [2] 李昌华, 1963: 长白山露水河施业区的土壤条件及其与林型分布和林木生长的关系。林业科学, 第8卷, 第2期。
- [3] 许广山等, 1980: 长白山北坡主要森林土壤有机质及其特性的初步研究。森林生态系统研究(试刊)1, 215—220页。
- [4] 程伯容等, 1981: 长白山北坡自然保护区主要土壤类型及其基本特征。森林生态系统研究(试刊)II, 196—204页。
- [5] 成俊卿等, 1963: 东北地区人工林与天然林红松木材材性的比较研究。林业科学, 第8卷第3期。
- [6] Mälkönen E., 1974: Annual Primary Production and Nutrient Cycle in Some Scots Pine stands. Helsinki pp. 53—54.

THE NUTRIENT CYCLING IN THE KOREAN PINE-BROADLEAVED FOREST OF THE CHANGBAI MOUNTAINS

Cheng Borong, Ding Guifang, Xu Guangshan, Zhang Yuhua

(Institute of Forestry and Soil Science, Academic Sinica)

Summary

The biomass and biological nutrient cycling in a Korean pine-broad leaved forest stand of Natural Reserve in the Changbai Mountains of Jilin province were studied. Results showed that the total biomass of the stand was 210,944 kg/ha, the biomass of the above ground parts constituted 82%, and that of below ground parts 18%. Its total annual production was 7087 kg/ha, and that of herbs was 3.43%.

The contents of N, P, K, Ca and Mg in the above ground biomass in the stand was 618.6, 56.47, 511.82, 1057.95 and 75.85 kg/ha, and their amounts of annual biomass production was 78.58, 7.72, 45.80, 84.51 and 13.97 kg/ha respectively. The percentage of nutrients uptake by trees constituted 73—92% of the total annual nutrient requirement. Although the biomass production of herbs only constituted 3.4% of the total biomass production, the amounts of nutrient requirement in the production of them constituted 7—26% of the total annual nutrient requirement.

Litter in the stand play an important pole in nutrient cycling. There were large amount of nutrients uptake by trees returned to soil.

Data in this study illustrated that for producing 1000 kg biomass, Korean pine only required about 9 kg N, 1 kg P, 3 kg K, 4 kg Ca and 1 kg Mg, however, broadleaved species required 16 kg N, 1 kg P, 9 kg K, 17 kg Ca and 4 kg Mg. It is obvious that broadleaved forest required more nutrients than Korean pine did.