

## 巨桉幼树器官组织中养分元素的分布与积累特点

郭加林<sup>1</sup>, 钟永坤<sup>2</sup>, 闵安民<sup>3</sup>, 王宇<sup>3</sup>, 李红霞<sup>3</sup>, 费楠<sup>3</sup>, 李凤鸣<sup>4</sup>(1. 江油市林业局敬元林业站, 四川 江油 621700; 2. 富顺县国营林场, 四川 富顺 643200;  
3. 四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081; 4. 成都市新津县林业局, 四川 新津 611430)

**摘要:**通过对造林1 a~3 a巨桉幼树的器官生物量调查、器官组织中大量元素N、P、K、Ca、Mg和微量元素Fe、Zn的含量测定及其积累量的分析结果表明:大量元素总含量在各器官中的分布为干韧皮部、叶>枝、根>干木质部,微量元素主要富集于叶和根器官中;单株木器官中大量元素的积累量排序为叶>枝>干韧皮部>根或干木质部>干木质部或根,各养分元素积累量的规律不受林龄的影响,大量营养元素依次为Ca>N>K>Mg>P;微量元素积累量Fe>Zn;林龄1 a~3 a巨桉平均单株木大量元素累积总量分别是12.45 g·株<sup>-1</sup>、136.19 g·株<sup>-1</sup>和420.23 g·株<sup>-1</sup>;各养分元素的年净积累量以Ca为最大,N、K养分元素次之,Mg元素较少,P元素最小。

**关键词:**巨桉;器官组织;养分元素;积累量

中图分类号:S718.43

文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2014)05-0023-06

Distribution And Accumulation of Nutrient Elements in Organic Tissue of *Eucalyptus grandis* SaplingsGUO Jia-lin<sup>1</sup>, ZHONG Yong-kun<sup>2</sup>, MIN An-min<sup>3</sup>, WANG Yu<sup>3</sup>LI Hong-xia<sup>3</sup>, FEI Nan<sup>3</sup>, LI Feng-ming<sup>4</sup>(1. Forestry Bureau of Jiangyou City, Jiangyou 6217000, China; 2. State Forest Farm of Fushun County, Fushun 643200, China;  
3. Sichuan Academy of Forestry Science, Chengdu 610066, China; 4. Forestry Bureau of Xinjin in Chengdu City, Xinjin 611430, China)

**Abstract:** The determination and analysis were made of the contents of macro-elements (N, P, K, Ca, Mg) and micro-elements (Fe, Zn) in organic tissue of 1 to 3 years old *Eucalyptus grandis* saplings and their biomass. The results showed that the contents of macro-elements in organic tissue were different, their ranking was bark, leaf > twig, root > stem, micro-elements were rich in leaf and root, and the accumulated amount of macro-elements in organic tissue of single tree was leaf > twig > bark > root or stem > stem or root, and that of macro-elements in 1 to 3 years old single tree was 12.45 g, 136.19 g and 420.23 g, respectively, in which their yearly net accumulation was Ca > N > K > Mg > P and the accumulation of Fe was much higher than Zn in single tree.

**Key words:** *Eucalyptus grandis*, Organic tissue, Nutrient element, Accumulated amount

巨桉(*Eucalyptus grandis*)生长速度极快,作为工业原料林进行定向培育,轮伐期短,已成为我国南方地区速生丰产林的战略树种之一。目前,南方各省桉树人工林的轮伐期多在5 a至7 a,由于原料市场供不应求,投资者采取短周期小径材的经营模式,将轮伐期缩至5 a甚至更短,此期间恰是巨桉旺

盛生长期,应提供足够的植株必需的养分元素,以保证植株正常生长,获得更高的产量,因此有必要对巨桉植株各器官组织的养分元素分布、积累及需求进行了解。此前针对一定林龄的巨桉植株的养分元素分布、积累研究曾有文献报道,但对巨桉幼林的不同林龄植株的养分元素分布、积累及需求研究鲜有报

收稿日期:2014-05-22

项目基金:四川森林生态与资源环境重点实验室资助项目“四川省巨桉配方施肥技术研究”。

作者简介:郭加林(1974-),男,工程师,从事林业管理及科技推广工作。

\* 通讯作者:闵安民,研究员,主要从事土壤、树木营养研究。E-mail: minanmin@126.com

道。本文通过对巨桉林龄 1 a~3 a 幼林地开展其生物量及器官组织养分元素测定,分析巨桉各器官组织的养分元素分布、积累及需求特点,以期为巨桉幼龄林施肥管理提供科学依据,达到提高产量、缩短巨桉轮伐周期,获得良好经济效益,防止地力衰退<sup>[1]</sup>,实现林地可持续利用目的。

## 1 研究方法

### 1.1 调查地选择

在成都市的双流县和新津县选择立地条件(土壤类型、厚度、坡度、坡向、海拔高度等)和经营管理(特别是施肥管理)相对一致的巨桉造林 1 a~3 a 幼林地作为调查试验地,其造林株行距 2 m×3 m,造林密度 1 665 株·hm<sup>-2</sup>。

### 1.2 调查方法

在选择的巨桉造林 1 a~3 a 幼林地,按每个树龄设置 20 m×20 m 样地 3 个,采用常规方法,进行每木检尺(树高或胸径),求算平均胸径和平均树高;在 9 个调查幼林地内选胸径、树高在平均数据 95%~105% 范围的树木 1 株作为标准木<sup>[2]</sup>,共选 9 株。

将生长正常的标准木实测胸径和冠幅后伐倒、切割,测定地上部分各器官(叶、枝、干)及地下部分根的鲜重,按相同林龄、器官计算平均值,并分别抽取 200 g~300 g 的叶、枝木质部、

枝韧皮部、干木质部、干韧皮部、根木质部、根韧皮部等器官组织分析样品,相同树龄、器官进行混合均匀,作室内分析测定。生物量样品置于烘箱内以 80℃ 烘干至恒重,求算含水率及各器官的生物量,各器官生物量之和为样本生物量。

### 1.3 分析测定

植物器官样品分析测定 N、P、K、Ca、Fe、Zn、粗灰分,待测液制备及测定:N—凯氏定 N 法、P—H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>—HClO<sub>4</sub> 消化,钼锑抗比色法测定。K、Ca、Mg—H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>—HClO<sub>4</sub> 消化,Fe、Zn—HNO<sub>3</sub>—HClO<sub>4</sub> 消化,原子吸收光谱法测定。粗灰分—干灰化,重量法测定<sup>[3]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 巨桉幼林的林分特征

巨桉林龄 1 a~3 a 幼林地林分特征见表 1。

表 1 巨桉幼林地林分特征

Table 1 Characteristics of *Eucalyptus grandis* sapling stand

造林年限及 样地编号	平均树高 (cm)	平均胸径 (cm)	变幅范围 (cm)	标准差 (SD, cm)	变异系数 (C. V)
1-1	178	/	120-255	38.94	0.22
1-2	153	/	65-250	42.87	0.28
1-3	132	/	50-240	47.87	0.36
2-1	/	4.36	1.8-10.4	1.53	0.35
2-2	/	4.38	1.5-8.5	1.50	0.34
2-3	/	5.03	3.2-6.9	0.82	0.16
3-1	/	7.70	3.8-10.5	1.67	0.22
3-2	/	7.12	4.3-10.8	1.56	0.22
3-3	/	7.40	3.8-11.5	1.69	0.23

注:表中“1-1, 1-2……”所示为“造林年限-样地编号”。

调查结果表明,巨桉林龄 1 a~3 a 幼林地,在不同的立地条件下,林龄越小,差异越大,林龄越大,差异越小。

### 2.1 巨桉各器官组织养分含量及分布

以林龄 2 a 的巨桉为例,器官组织的养分元素含量结果见表 2。结果表明,巨桉叶组织中 N、P、K、Mg 含量最高,干木质部或枝木质部含量最低,其它器官组织的 N、P、K、Mg 含量居于之间;枝韧皮部中 Ca 含量最高,根木质部最低,其它器官组织的 Ca 含量居于二者之间。微量元素 Fe 含量根韧皮部>叶>枝韧皮部>根木质部>干木质部>枝木质部>干韧皮部;微量元素 Zn 含量枝韧皮部>叶>根韧皮部>根木质部>干韧皮部>干木质部>枝木质部;器官组织中粗灰分含量干韧皮部最高,干木质部最低。总的趋势是大量、中量养分元素和微量元素在叶、韧皮部组织中较高,在木质部组织中较低,灰分元素总量树韧皮部中最高,在根和枝韧皮部组织中高于叶和木质部组织。

大量、中量元素 N、P、K、Ca、Mg 总含量干韧皮部>叶>枝韧皮部>根韧皮部>根木质部>枝木质部>干木质部;各器官组织中大量、中量元素以 Ca 含量最高, N、K 元素较高, Mg 元素较低, P 含量为最低;各器官组织中微量元素 Fe 含量高于 Zn 含量。由此表明不同营养元在不同器官中的含量存在差异<sup>[4]</sup>,养分主要富集于叶和韧皮部组织中,在生长过程中对养分 Ca、N、K 需求较多。

表 2 巨桉林龄 2 a 的器官组织养分含量

Table 2 Nutrient element contents of *Eucalyptus grandis* tissue in 2-year-old saplings

器官组织	N (g·kg <sup>-1</sup> )	P (g·kg <sup>-1</sup> )	K (g·kg <sup>-1</sup> )	Ca (g·kg <sup>-1</sup> )	Mg (g·kg <sup>-1</sup> )	小计 (g·kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg·kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg·kg <sup>-1</sup> )	小计 (mg·kg <sup>-1</sup> )	粗灰分 (g·kg <sup>-1</sup> )
根木质部	3.69	0.20	2.43	0.45	0.40	7.17	247.5	18.60	266.1	11.13
根韧皮部	4.55	0.42	2.71	20.31	1.15	29.14	1348.0	20.0	1368	87.47
干木质部	1.98	0.21	2.09	0.73	0.38	5.39	138.9	7.15	146.05	9.44
干韧皮部	3.61	0.45	2.91	31.59	2.87	41.43	125.4	18.58	143.98	91.42
枝木质部	1.84	0.21	2.12	1.99	0.22	6.38	128.8	6.64	135.44	11.66
枝韧皮部	6.87	0.64	3.58	19.41	1.68	32.18	461.6	31.19	492.79	64.37
叶	18.59	1.12	4.61	9.72	1.99	36.03	781.9	28.52	810.42	54.10

## 2.2 不同林龄巨桉器官养分元素含量及分布

### 2.2.1 器官组织养分含量

巨桉林龄 1 a~3 a 的幼林,植株平均木各器官养分元素含量测定结果见表 3。

从表 3 中可知,巨桉林龄 1 年各器官中大量元素 N、P、K、Ca、Mg 总含量排序为叶>干韧皮部>枝>根>干木质部;巨桉林龄 2 a 和 3 a 各器官中大量元素总含量排序为干韧皮部>叶>枝>根>干木质部,表明随着树龄的增长,大量养分元素向树韧皮部富集;林龄 1 a 各器官中微量元素 Fe 和 Zn 总含量排序为叶>根>枝>干韧皮部>干木质部,林龄 2 a 各器官中微量元素 Fe 和 Zn 总含量排序为叶>根>干木质部>干韧皮部>枝,其中叶和根器官的 Fe 和 Zn 总含量比枝、干韧皮部和干木质部器官的含量高得多。说明微量元素 Fe 和 Zn 主要富集于叶和根器官中。

### 2.2.2 养分元素含量及其分布

N 元素:巨桉林龄 1 a~3 a 植株各器官 N 含量叶>枝>根>干韧皮部>干木质部;随着树龄的增

长,N 含量在根、干木质部、枝和叶器官中呈下降趋势,在干韧皮部中略有呈上升趋势,表明 N 元素逐步向干韧皮部中富集。

P 元素:巨桉林龄 1 a~3 a 植株各器官 P 含量叶>枝>根>干韧皮部>干木质部;随着树龄的增长,P 含量在根中变化不大,在树韧皮部、枝、叶和干木质部中呈上升趋势。

K 元素:巨桉林龄 1 a~2 a 植株各器官 K 含量叶>枝>干韧皮部>根>干木质部,造林 3 a 植株各器官 K 含量叶>干韧皮部>枝>根>干木质部;随着树龄的增长,N 含量在根、枝器官中呈缓慢下降趋势,在叶、干韧皮部中呈缓慢上升。干木质部变化不大。表明随着树龄增长 K 元素向叶、干韧皮部组织富集。

Ca 元素:巨桉林龄 1 a 植株各器官 Ca 含量干韧皮部>叶>枝>根>干木质部,造林 2 a、3 a 植株各器官 Ca 含量干韧皮部>枝>叶>根>干木质部;随着树龄的增长,Ca 含量在根、叶器官中呈缓慢下降趋势,在干韧皮部和枝中呈上升趋势。表明随着

表 3 巨桉不同林龄平均木各器官组织养分元素的含量

Table 3 Nutrient element contents of *Eucalyptus grandis* tissue from 1 to 3 years old saplings

林龄	器官组织	N (g·kg <sup>-1</sup> )	P (g·kg <sup>-1</sup> )	K (g·kg <sup>-1</sup> )	Ca (g·kg <sup>-1</sup> )	Mg (g·kg <sup>-1</sup> )	小计 (g·kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg·kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg·kg <sup>-1</sup> )	小计 (mg·kg <sup>-1</sup> )
1 年	根	5.42	0.24	1.95	9.86	0.63	18.1	693.9	20.28	714.18
	干木质部	3.08	0.18	1.6	1.25	0.21	6.32	41.4	5.82	47.22
	干韧皮部	4.77	0.32	3.1	21.42	1.94	31.55	99.9	20.59	120.49
	枝	6.08	0.42	3.55	11.96	0.75	22.76	161.8	23.02	184.82
	叶	21.0	0.89	4.79	13.96	1.59	42.23	999.8	63.16	1062.96
2 年	根	4.08	0.3	2.56	9.47	0.74	17.15	747.14	19.22	766.36
	干木质部	1.98	0.21	2.09	0.73	0.38	5.31	138.9	7.15	146.05
	干韧皮部	3.61	0.45	2.91	31.59	2.87	41.43	125.4	18.58	143.98
	枝	4.32	0.45	3.32	10.52	0.85	19.46	107.4	16.96	124.36
	叶	18.59	1.12	4.61	9.72	1.99	36.03	781.9	28.52	810.42
3 年	根	4.14	0.3	2.12	9.24	0.74	16.54	/	/	/
	干木质部	1.94	0.25	1.62	1.45	0.43	5.69	/	/	/
	干韧皮部	4.7	0.64	2.99	33.26	2.03	43.62	/	/	/
	枝	6.78	0.82	2.48	14.52	1.37	25.97	/	/	/
	叶	21.82	1.33	4.73	11.43	2.20	41.51	/	/	/

树龄增长 Ca 元素向干韧皮部和枝组织富集。

Mg 元素:巨桉林龄 1 a、2 a 植株各器官 Mg 含量干韧皮部 > 叶 > 枝 > 根 > 干木质部;造林 3 a 植株各器官 K 含量叶 > 干韧皮部 > 枝 > 根 > 干木质部;随着树龄的增长, Mg 含量在根、叶、干韧皮部、枝和干器官组织中呈上升趋势。

Fe 元素:巨桉林龄 1 年各器官中微量元素 Fe 含量叶 > 根 > 枝 > 干韧皮部 > 干木质部,造林 2 a 各器官中 Fe 含量叶 > 根 > 干木质部 > 干韧皮部 > 枝。

Zn 元素:巨桉林龄 1 a 各器官中微量元素 Zn 含量叶 > 枝 > 干韧皮部 > 根 > 干木质部,造林 2 a 各器官中 Fe 含量叶 > 根 > 干韧皮部 > 枝 > 干木质部。

### 2.3 不同林龄巨桉平均单株木养分的积累与分布

#### 2.3.1 单株木养分的积累与分布

不同林龄巨桉平均单株木器官养分积累量见表

表 4 巨桉不同年龄平均木各器官组织养分的积累与分布

Table 4 Accumulation and distribution of nutrient elements in 1 to 3 years old sapling *Eucalyptus grandis* tissue

林龄	器官组织	生物量 (kg)	N (g)	P (g)	K (g)	Ca (g)	Mg (g)	小计 (g)	Fe (mg)	Zn (mg)	小计 (mg)
1 年	根	0.0722	0.39	0.02	0.14	0.71	0.04	1.31	50.1	1.5	51.6
	干木质部	0.0890	0.27	0.02	0.14	0.11	0.02	0.56	3.7	0.5	4.2
	干韧皮部	0.0496	0.24	0.02	0.15	1.06	0.10	1.57	5.0	1.0	6
	枝	0.0894	0.54	0.04	0.32	1.07	0.07	2.03	14.5	2.0	16.5
	叶	0.1654	3.47	0.15	0.79	2.31	0.26	6.98	165.4	10.4	175.8
	合计	0.4657	4.92	0.25	1.54	5.26	0.49	12.45	238.6	15.4	254
2 年	根	1.14631	4.68	0.34	2.99	10.86	0.85	19.66	856.4	22.0	878.4
	干木质部	2.7808	5.28	0.58	5.81	2.03	1.06	14.77	386.2	19.9	386.2
	干韧皮部	0.6265	2.26	0.28	1.82	19.79	1.80	25.96	78.6	11.6	90.2
	枝	1.6291	7.04	0.73	5.41	17.14	1.38	31.70	175.0	27.6	202.6
	叶	1.224	22.76	1.37	5.64	11.90	2.44	44.10	957.0	34.9	991.9
	合计	7.4067	42.01	3.30	21.67	61.72	7.53	136.19	2453.2	116.0	2569.2
3 年	根	1.7418	7.21	0.52	3.69	16.09	1.29	28.81	/	/	/
	干木质部	5.6128	10.89	1.40	9.09	8.14	2.41	31.94	/	/	/
	干韧皮部	1.1770	5.53	0.75	3.52	39.15	2.39	51.34	/	/	/
	枝	4.8269	32.73	3.96	11.97	70.09	6.61	125.36	/	/	/
	叶	4.4034	96.08	5.86	20.83	50.33	9.69	182.78	/	/	/
	合计	17.7619	152.44	12.49	49.10	183.80	22.39	420.23	/	/	/

不同的养分元素在单株木中的积累量的规律不受林龄的影响,其大量、中量营养元素依次为 Ca > N > K > Mg > P;微量元素 Fe、Zn 亦不受林龄的影响,其积累量 Fe > Zn。

林龄 1 a~3 a 巨桉平均单株木大量元素累积总量分别是 12.45 g·株<sup>-1</sup>、136.19 g·株<sup>-1</sup>和 420.23 g·株<sup>-1</sup>,巨桉林龄 2 a 和 3 a 养分积累量分别是林龄 1 a 的 11 倍和 33 倍。巨桉林龄 1 a 和 2 a 微量元素 Fe、Zn 积累总量分别为 254.0 mg·株<sup>-1</sup>和 2 569.2 mg·株<sup>-1</sup>。林龄 2 a 累积量是造林 1 a 的

4。从表中可知,巨桉林龄 1 a~3 a 的幼林地的平均单株营养元素的累积量随着年龄增长而成倍地增加,这表明随着树龄的增加林木对养分需求量增加。在各龄期巨桉对 Ca 和 N 需求量高,对 K 的需求量较高;巨桉林龄 1 a 和 2 a 植株各器官中大量元素 N、P、K、Ca、Mg 的累积量排序为叶 > 枝 > 干韧皮部 > 根 > 干木质部,林龄 3 a 植株各器官中大量元素累积量排序为叶 > 枝 > 干韧皮部 > 干木质部 > 根,表明叶的养分元素累积量最高,与林龄无关;林龄 1 年巨桉植株各器官组织中微量元素 Fe 的累积量排序为叶 > 根 > 枝 > 干韧皮部 > 干木质部,微量元素 Zn 累积量叶 > 枝 > 根 > 干韧皮部 > 干木质部;林龄 2 a 巨桉植株各器官组织中微量元素 Fe 的累积量排序为叶 > 根 > 干木质部 > 枝 > 干韧皮部,微量元素 Zn 累积量叶 > 枝 > 根 > 干木质部 > 干韧皮部。叶组织中微量元素累积量同样是最高的,与林龄无关。

10 倍。

按林分密度 1 665 株·hm<sup>-2</sup> (株行距 2 m × 3 m) 计算,巨桉林龄 1 a~3 a 林分的营养元素累积总量分别为 20.73 kg·hm<sup>-2</sup>、226.76 kg·hm<sup>-2</sup> 和 699.68 kg·hm<sup>-2</sup>,表明随着树龄的增长,林木生物量增加,林分从林地吸取的养分就越多,在生产实际中应给林地输入必需的肥料,予以养分元素补充,以保证植株正常生长及防止地力衰退。肥料具体施入量应根据各林龄巨桉对营养元素的需求量和土壤肥力供给情况而定。

### 2.3.2 单株木养分元素的积累

**N 元素的积累量:**巨桉造林 1 a~3 a N 元素在单株木中的积累量分别为  $4.92 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 、 $42.01 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$  和  $152.44 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ , 分别占其大量养分元素积累总量的 39.5%、30.8% 和 36.3%。表明巨桉幼树生长对 N 元素的需求占大量养分元素总量的 1/3 以上。

**P 元素的积累量:**巨桉造林 1 a~3 a 后 P 元素在单株木中的积累量分别为  $0.25 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 、 $3.30 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$  和  $12.49 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ , 分别占其大量养分元素积累总量的 2.0%、2.4% 和 3.0%。表明巨桉幼树对 P 元素的需求量很小, 占大量养分元素积累总量的百分比不超过 3.0%。

**K 元素的积累量:**巨桉造林 1 a~3 a K 元素在单株木中的积累量分别为  $1.54 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 、 $21.67 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$  和  $49.10 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ , 分别占其大量养分元素积累总量的 12.4%、15.9% 和 11.7%。表明巨桉幼树随着年龄的增长对 K 元素的需求呈上升趋势, 其 K 在单株木中积累量占大量养分元素总量的百分比在 10%~16% 之间。

**Ca 元素的积累量:**巨桉造林 1 a~3 a K 元素在单株木中的积累量分别为  $5.26 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 、 $61.72 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$  和  $183.80 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ , 分别占其大量养分元素积累总量的 42.2%、45.3% 和 43.7%。表明巨桉幼树生长对 Ca 元素的需求最大, 占大量养分元素总量的百分比超过 40%。

**Mg 元素的积累量:**巨桉造林 1 a~3 a Mg 元素在单株木中的积累量分别为  $0.49 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 、 $7.53 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$  和  $22.39 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ , 分别占其大量养分元素积累总量的 3.9%、5.5% 和 5.3%。表明巨桉幼树随着年龄的增长对 Mg 元素的需求有很小幅度的增加, 但占大量养分元素积累总量的百分比很小, 不超过 6.0%。

**微量元素 Fe 的积累量:**巨桉造林 1 a 和 2 a Fe 元素在单株木中的积累量分别为  $238.6 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$  和  $2453.2 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$ , 分别占其微量元素 Fe、Zn 积累总量的 93.9% 和 95.5%。

**微量元素 Zn 的积累量:**巨桉造林 1 a 和 2 a Zn 元素在单株木中的积累量分别为  $15.4 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$  和  $116.0 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$ , 分别占其微量元素 Fe、Zn 积累总量的 6.1% 和 4.5%。

## 2.4 巨桉养分年净积累量

从表 4 可见, 巨桉养分年净积累量随着树龄增

长而增加。巨桉林龄 1 a 的大量、中量元素养分年净积累量是  $12.45 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$  ( $20.73 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 以 1 665 株  $\cdot \text{hm}^{-2}$  计, 以下所示相同), 其中 N 元素年净积累量是  $4.92 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ , P 元素为  $0.25 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ , K 元素是  $1.54 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ , Ca 元素为  $5.26 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ , Mg 元素为  $0.49 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ ; 微量元素 Fe 年净积累量是  $238.6 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$ , Zn 元素年净积累量为  $15.4 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$ 。

巨桉林龄 2 a 的大量、中量元素养分年净积累量为  $123.74 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$  ( $206.03 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$ ), 养分年净积累量是其积累量的 90.8%, 其中 N 元素年净积累量是  $37.09 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ , P 元素为  $3.05 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ , K 元素是  $20.13 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ , Ca 元素为  $56.46 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ , Mg 元素为  $7.04 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ , 各养分元素分别是其积累量的 88.3%、92.4%、92.9%、91.5% 和 93.5%; 微量元素 Fe 年净积累量是  $2214.6 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$ , Zn 元素年净积累量为  $100.6 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$ , 分别是其积累量的 90.3% 和 86.7%。

巨桉林龄 3 a 的大量、中量元素养分年净积累量为  $284.04 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$  ( $472.92 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$ ), 养分年净积累量是其积累量的 67.6%, 其中 N 元素年净积累量是  $110.43 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ , P 元素为  $9.19 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ , K 元素是  $27.43 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ , Ca 元素为  $122.08 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ , Mg 元素为  $14.86 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ , 各养分元素分别是其积累量的 72.4%、73.6%、55.9%、66.4% 和 66.4%。

巨桉林龄 1 a~3 a 幼林地单株木各养分元素的年净积累量以 Ca 为最大, N、K 养分元素次之, Mg 元素较少, P 元素最小, 这与养分元素在单株木中积累量的规律一致。表明巨桉在 1 a~3 a 林龄期对 Ca、N、K 养分元素的需求量较大, 且在 2 a 林龄期对养分元素的需求增幅最大, 在生产实际中结合土壤养分供应情况, 重点考虑 N、K 养分元素肥料的施用, Ca 元素通过施用 P 元素肥料(一般含 Ca 丰富)足以补充。

## 3 结论

不同营养元素在不同器官组织中的含量存在差异。大量元素 N、P、K、Ca、Mg 总含量干韧皮部 > 叶 > 枝韧皮部 > 根韧皮部 > 根木质部 > 枝木质部 > 干木质部; 微量元素 Fe、Zn 在叶、根韧皮部、枝韧皮部中较高, 在各器官组织中微量元素 Fe 含量比 Zn 含量高。

造林1 a~3 a巨桉的大量元素N、P、K、Ca、Mg总含量在各器官中的分布为干韧皮部、叶>枝、根>干木质部,随着树龄的增长,养分元素向树韧皮部富集;微量元素Fe和Zn主要富集于叶和根器官中。

造林1 a~3 a巨桉单株木大量元素N、P、K、Ca、Mg的累积量在器官组织中排序为叶>枝>干韧皮部>根或干木质部>干木质部或根,各养分元素的积累量的规律不受林龄的影响,其大量营养元素依次为Ca>N>K>Mg>P;微量元素累积量Fe>Zn。

造林1 a~3 a巨桉平均单株木大量元素累积总量分别是12.45 g·株<sup>-1</sup>、136.19 g·株<sup>-1</sup>和420.23 g·株<sup>-1</sup>,其中N元素的累积量占大量养分元素总量的1/3以上,P元素累积量占大量养分元素累积总量的百分比不超过3.0%,K元素累积量占大量养分元素累积总量的百分比在10%~16%之间,Ca元素累积量占大量养分元素总量的百分比超过40%,Mg元素的累积量占大量养分元素累积总量的百分比不超过6.0%。

造林1 a和2 a巨桉单株木微量元素Fe、Zn累积总量分别为254.0 mg·株<sup>-1</sup>和2569.2 mg·株<sup>-1</sup>。其中微量元素Fe的累积量占其微量元素累积总量的95%左右,微量元素Zn的累积量占其微

量元素累积总量的5%左右。

造林1 a~3 a巨桉幼林地单株木各养分元素的年净积累量以Ca为最大,N、K养分元素次之,Mg元素较少,P元素最小,表明巨桉对Ca、N、K养分元素的需求量较大。

#### 参考文献:

- [1] 聂道平. 森林生态系统营养元素的生物循环[J]. 林业科学研究, 1991, 4(4): 435~440.
- [2] 董志勇. 林业工程师实验技术手册[M]. 中国林业出版社, 1995.
- [3] 张万儒, 杨光滢, 涂星南, 等. 森林植物与枯枝落叶层全氮、磷、钾、钠、钙、镁、铁、锌、锰、铜、硫等的测定, 森林植物与枯枝落叶层粗灰分的测定—森林土壤分析方法[M]. 北京: 中国标准出版社, 2000年, 270~272, 279~297.
- [4] 谢贤健, 张健, 冯茂松. 巨桉主要养分元素积累与分布研究[J]. 四川林业科技, 2005, 26(2): 1~6.
- [5] 刘贤词, 文仕知, 冯汉华, 等. 四川桉木人工林不同年龄段生物量的研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2007, 27(2): 83~86.
- [6] 谢贤健, 张健, 冯茂松. 桉木主要养分元素积累与分布研究[J]. 四川林业科技, 2005, 26(2): 1~6.
- [7] 朱万泽, 薛建辉, 王金锡, 等. 台湾桉木林分生物量与营养元素的分布[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2002, 26(2): 15~20.
- [7] 郭天峰, 冯汉华, 徐期瑚. 四川桉木人工林生态系统养分的积累与分布[J]. 四川林业科技, 2009, 30(4): 89~91.

(上接第91页)

#### 参考文献:

- [1] 曾希柏, 白玲玉, 李莲芳, 等. 不同土地利用方式对农田土壤养分含量的影响[J]. 农业现代化研究, 2010, 31(4): 492~495.
- [2] 龙健, 黄昌勇, 李娟. 喀斯特山区土地利用方式对土壤质量演变的影响[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 76~79.
- [3] 刘全友, 童依平. 北方农牧交错带土地利用类型对土壤养分分布的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 16(10): 1849~1852.
- [4] 张萍, 郭辉军, 刀志灵, 等. 高黎贡山土壤微生物生化活性的初步研究[J]. 土壤学报, 2000, 37(2): 275~279.

- [5] 马云, 何丙辉, 陈晓燕, 等. 不同土地利用方式下坡面土壤养分分布特征[J]. 水土保持学报, 2009(6): 118~122.
- [6] 沙丽清, 邱学忠, 甘建民. 云南保山西庄山地流域土地利用方式与土壤肥力关系研究[J]. 生态学杂志, 2003, 22(2): 9~11.
- [7] 王洪杰, 李宪文, 史学正, 等. 不同土地利用方式下土壤养分的分布及其与土壤颗粒组成关系[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 44~46.
- [8] 张玉斌, 吴发启, 曹宁, 等. 泥河沟流域不同土地利用土壤养分分析[J]. 水土保持通报, 2005, 25(2): 23~26.