

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201311011

谭玲, 何友均, 覃林, 等. 红椎和西南桦营养元素的含量与储量特征[J]. 广西植物, 2015, 35(1): 69–74

Tan L, He YJ, Qin L, et al. Characteristics of nutrient contents and storages in *Castanopsis hystrix* and *Betula alnoides*[J]. *Guihaia*, 2015, 35(1): 69–74

红椎和西南桦营养元素的含量与储量特征

谭玲¹, 何友均², 覃林^{1*}, 陈绍志²

(1. 广西大学 林学院, 南宁 530004; 2. 中国林业科学研究院 林业科技信息研究所, 北京 100091)

摘要: 营养元素在植物不同器官及不同营养元素在同一器官中的含量与储量特征, 不仅反映植物自身的生物学特性, 而且还反映了植物在一定的生境下从土壤中吸收和蓄积矿质养分的能力。为了阐明我国南亚热带不同珍稀乡土阔叶造林树种营养元素含量与储量特征, 该文通过植物样品采集、实验室测试及统计分析的方法, 对位于广西凭祥的中国林业科学研究热带林业实验中心的红椎和西南桦的 5 种营养元素(N、P、K、Ca 和 Mg)含量与储量特征进行了研究。结果表明: 红椎与西南桦不同器官中营养元素总含量排序均为树叶>细根>树枝>中根>粗根>干皮>根尖>干材, 林木各器官营养元素含量均以 N 和 K 最高, Ca 和 Mg 其次, P 最低; 2 树种叶片的 N、P 含量均显著($P < 0.05$)高于其他器官, 且叶片 N:P 表征 2 树种均是 P 制约型植物。除根尖之外, 2 树种各器官中营养元素总储量的分配为干材>树枝>干皮>树叶>粗根>细根>中根。红椎的营养元素利用效率略高于西南桦。该研究揭示了红椎和西南桦的营养需求, 为调节和改善林木生长环境, 以及科学制定林地养分管理策略提供了理论依据。

关键词: 红椎; 西南桦; 营养元素; 含量; 储量

中图分类号: Q948; S718.45 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2015)01-0069-06

Characteristics of nutrient contents and storages in *Castanopsis hystrix* and *Betula alnoides*

TAN Ling¹, HE You-Jun², QIN Lin^{1*}, CHEN Shao-Zhi²

(1. College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530004, China; 2. Research Institute of Forestry Policy and Information, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: Nutrient elements in different organs of the plant and different contents or storages of nutrient elements in the same organs, not only reflect the plant's own biological characteristics, but also reflect the plant under certain habitats capacity to absorb and accumulation of mineral from soil. To illustrate the characteristics of nutrient element contents and storages of different valuable local forestation hardwood species in the southern subtropical area of China, we studied the contents and storages of five nutrient elements (N, P, K, Ca and Mg) in *Castanopsis hystrix* and *Betula alnoides* from the Experimental Centre of Tropical Forestry of Chinese Academy of Forestry located in Pingxiang, Guangxi. We have got some meaningful results from collecting plant samples, laboratory test and statistical analysis method. The total contents of these five nutrient elements in different organs of *Castanopsis hystrix* and *Betula alnoides* were in the order of leaf>fine root>twig>medium root>thick root>bark>root tip>stem. The contents of N and K were the highest among the five elements, followed by Ca and Mg, while P was the lowest in various organs of the two trees. The contents of N and P in leaf were significantly higher than those in other organs for *Castanopsis hystrix* and *Betula alnoides* ($P < 0.05$), and the two trees were defined as the P limited plants based on the

收稿日期: 2014-01-19 修回日期: 2014-07-18

基金项目: 引进国际先进林业科学技术项目(2012-4-69); 林业公益性行业科研专项(200904005)。

作者简介: 谭玲(1969-), 女(土家族), 湖北巴东人, 实验师, 主要从事森林培育研究, (E-mail)tanlinggx@163.com。

* 通讯作者: 覃林, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事森林生态学研究, (E-mail)nilniq@gxu.edu.cn。

N : P ratio in the leaf. In addition to root tip, the total storage amounts of nutrient elements in different organs of the two trees in order were stem > twig > bark > leaf > thick root > fine root > medium root. The nutrient utilization efficiency of *Castanopsis hystrix* was slightly higher than that of *Betula alnoides*. The study revealed that the nutritional requirements of *Castanopsis hystrix* and *Betula alnoides* would provide theoretical basis for adjusting and improving the two trees growing environment, as well as making forest land nutrient management strategies.

Key words: *Castanopsis hystrix*; *Betula alnoides*; nutrient element; content; storage

植物不同器官的生理机能和不同营养元素在植物体内的功能不同, 营养元素在植物不同器官及不同营养元素在同一器官中的含量与储量也不同, 这不仅反映了植物自身的生物学特性, 也反映了植物在一定的生境下从土壤中吸收和蓄积矿质养分的能力(陈银萍等, 2009)。红椎(*Castanopsis hystrix*)和西南桦(*Betula alnoides*)是适宜我国亚热带地区培养大径材的珍优乡土阔叶造林树种(周诚, 2007)。用乡土树种培育优质大径材已成为亚热带满足林产品需求和生态环境保护的重要途径(何友均等, 2012)。目前国内不同学者对红椎、西南桦的遗传改良、繁殖与造林技术、木材性质以及生物量等方面进行了研究(王庆华等, 1999; 林俊平, 2002; 潘坚, 2003; 吕建雄等, 2006; 覃林等, 2011; 何友均等, 2012), 但有关 2 树种营养元素含量与储量的研究文献很少, 仅见彭玉华等(2012)对 3 个不同种源红椎 2 年生苗的叶片营养元素含量的报道。

本文通过对位于广西凭祥市的中国林业科学研究院热带林业实验中心伏波实验场 28 年生红椎和 13 年生西南桦 5 种营养元素(N、P、K、Ca 和 Mg)含量与储量特征的研究, 旨在揭示 2 树种的营养需求, 为调节和改善林木生长环境, 以及科学制定林地养分管理策略提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究地点位于广西凭祥市的中国林业科学研究院热带林业实验中心伏波试验场(106°51'~106°53'E, 22°02'~22°04' N)。该地区属亚热带季风湿润半湿润气候, 干湿季节分明(10 月至次年 3 月为干季, 4—9 月为湿季)。年均气温 20.5~21.7 °C, 最冷月(1 月)平均气温 13.5 °C, 最热月(7 月)平均气温 27.6 °C; 年均降雨量 1 200~1 500 mm, 相对湿度 80%~84%。地貌类型以低山丘陵为主, 海拔 430~680 m, 地带性土壤为花岗岩发育的山地红壤, 土层厚度大于 80 cm(覃林等, 2011)。

20 世纪 50 年代在该地区亚热带常绿阔叶林皆伐迹地上种植了杉木(*Cunninghamia lanceolata*)。红椎纯林于 1983 年在杉木皆伐后的林地上营造(初植密度 2 500 株·hm⁻²), 并于 1993、1998 和 2009 年进行了 3 次间伐(每次间伐强度均为 15%)。1999 年在杉木皆伐地营造西南桦纯林(初植密度 1667 株·hm⁻²), 并于 2005 年进行了间伐(间伐强度 35%)。2011 年 1 月调查时, 红椎林分平均树高 14.6 m, 平均胸径 22.7 cm; 林下优势灌木野漆(*Toxicodendron succedaneum*)、三叉苦(*Euodia leptota*)和九节(*Psychotria rubra*), 优势草本为扇叶铁线蕨(*Adiantum flabellulatum*)、铁芒箕(*Dicranopteris dichotoma*)和五节芒(*Miscanthus floridulu*)等, 覆盖度 20%, 凋落物层厚约 1~2 cm。西南桦林分平均树高 11.5 m, 平均胸径 10.8 cm; 林下灌木主要是三叉苦、裂叶榕(*Ficus laceratifolia* Levl et van)和九节, 草本主要是五节芒、扇叶铁线蕨和粽叶芦(*Thysanolaena maxima*)等, 盖度约 80%, 凋落物层厚约 1 cm。红椎与西南桦人工林土壤(0~60 cm)主要理化性质见表 1。

表 1 红椎与西南桦人工林土壤(0~60 cm)主要理化性质
Table 1 Soil physi-chemical properties (0-60 cm) in *Castanopsis hystrix* and *Betula alnoides* plantation

指标 Indicator	红椎 人工林 <i>Castanopsis hystrix</i> plantation	西南桦 人工林 <i>Betula alnoides</i> plantation
容重 Bulk density (g·cm ⁻³)	1.65	1.62
pH 值 pH value	4.53	4.47
有机质 Organic matter (mg·g ⁻¹)	47.02	49.18
全氮 Total N (mg·g ⁻¹)	0.98	1.30
全磷 Total P (mg·g ⁻¹)	0.20	0.26
全钾 Total K (mg·g ⁻¹)	5.06	5.20
水解氮 Hydrolysis N (mg·kg ⁻¹)	188.46	201.14
速效磷 Available P (mg·kg ⁻¹)	19.56	22.18
速效钾 Available K (mg·kg ⁻¹)	62.44	84.31
交换性钙 Exchangeable Ca (mg·kg ⁻¹)	118.58	58.28
交换性镁 Exchangeable Mg (mg·kg ⁻¹)	5.66	6.25

1.2 研究方法

1.2.1 标准地设置与植物样品采集 分别在立地条

件相似的 28 年生红椎纯林和 13 年生西南桦纯林中的上坡、中坡和下坡各设 3 块面积 20 m×20 m 标准地(每种林分共 9 块),测定各标准地内林木的胸径和树高。根据标准地林木胸径和树高的计测结果,在 2 种林分中按 2 cm 径阶典型选取红椎与西南桦实测样木各 6 株(红椎:树高 11.5~22.4 cm,胸径 15.2~28.0 cm;西南桦:树高 10.4~19.2 cm,胸径为 8.8~23.8 cm),采用全树收获法测定各样木的地上部分生物量,具体是 2 m 区分段树干解析法截取园盘样品,并分段称干材和干皮鲜重,分别收集枝和叶测定其鲜重并采集样品;地下部分采用全挖法,按根莖、粗根(根系直径>2.0 cm)、中根(0.5~2.0 cm)和细根(<0.5 cm)测定鲜重并采集样品。所有样品于 80 °C 恒温下烘至恒重,计算含水率和干物质量,然后经粉碎、过筛后装瓶待测。

1.2.2 植物样品营养元素分析方法 植物样品的 N、P、K 含量采用 H₂SO₄-HClO₄ 消化法消煮后,N 含量用凯氏半微量定氮法测定,P 含量用钼锑抗比色法测定,K 含量用火焰光度计法测定;Ca 和 Mg 含量采用 HClO₄-HNO₃ 消化法消煮,然后用原子吸收分光光度法测定(鲁如坤,2000)。各个树种各器官样品重复 3 次。

1.2.3 数据处理方法 用单因素方差分析(ANOVA)和最小差异法(LSD)检验同一树种不同器官间营养元素含量、氮磷比和不同营养元素间的利用效率以及不同树种间同一营养元素利用效率的

差异显著性($P<0.05$),其中氮磷比经对数变换后进行分析。所有数据统计分析由 PASW Statistics 18 软件完成,用 Excel 作图。

2 结果与分析

2.1 红椎和西南桦各器官营养元素含量特征

2.1.1 营养元素含量及其分布 从表 2 看出,红椎和西南桦平均单株不同器官的 5 种营养元素(N、P、K、Ca 和 Mg)总含量差异较大,树叶营养元素总含量最高,干材最低,其它器官表现为细根>树枝>中根>粗根>干皮>根莖。西南桦除根莖、中根的营养元素总含量略低于红椎外,其余器官均高于红椎。

同一树种不同器官间各营养元素含量存在一定差异(表 2),尤其是红椎和西南桦树叶的 N、P 含量显著($P<0.05$)高于其它营养器官,而干材的各营养元素含量均最低。另外,2 树种同一器官各营养元素含量间也存在差异,但均是以 N 和 K 含量最高,P 的含量最低,而 Ca 和 Mg 含量差异性不大。

2.1.2 各器官的 N:P 特征 植物 N:P 的指示意义在于明确植物群落生产力受到哪种营养元素的限制作用;植物叶片的 N:P<14 表明是 N 限制,N:P>16 表明是 P 限制,N:P 处于二者之间为 N 和 P 共同限制或二者都不限制(Koerselman *et al.*, 1996)。从图 1 可看出,红椎、西南桦不同器官间的 N:P 存在差异,其中叶片的 N:P 显著($P<0.05$)

表 2 红椎与西南桦各器官营养元素含量 (mg·g⁻¹)

Table 2 Nutrient contents in various organs of *Castanopsis hystrix* and *Betula alnoides*

器官 Organ	红椎 <i>Castanopsis hystrix</i>						西南桦 <i>Betula alnoides</i>					
	N	P	K	Ca	Mg	合计 Total	N	P	K	Ca	Mg	合计 Total
树叶 Leaf	19.20± 1.33a	0.81± 0.17a	8.98± 0.45a	1.86± 0.04a	1.06± 0.03a	31.92	23.38± 1.45a	0.91± 0.18a	13.60± 0.66a	1.37± 0.03a	1.47± 0.09a	40.73
树枝 Twig	9.38 ± 2.35b	0.52± 0.09b	9.01± 0.45a	1.95± 0.04a	1.17± 0.03a	22.03	9.33± 1.08b	0.58± 0.11b	9.94± 0.77b	2.01± 0.06b	1.65± 0.05a	23.51
干材 Stem	2.45± 0.77c	0.30± 0.01c	5.21± 0.55b	0.88± 0.01b	0.84± 0.05b	9.68	4.57± 0.06c	0.42± 0.02b	3.90± 0.47c	0.60± 0.02c	0.69± 0.03b	10.18
干皮 Bark	3.06± 0.78c	0.63± 0.15b	6.47± 0.80c	1.07± 0.08b	0.90± 0.03b	12.13	5.26± 0.47cd	0.59± 0.02b	7.02± 0.65d	1.77± 0.10d	1.12± 0.01c	15.77
根莖 Root tip	3.37± 0.84cd	0.32± 0.02c	5.73± 0.55b	1.62± 0.14c	1.04± 0.01ab	12.09	4.72± 0.12c	0.50± 0.03b	4.02± 0.24c	1.14± 0.15a	1.02± 0.09c	11.41
粗根 Thick root	4.13± 0.94d	0.34± 0.02c	6.75± 0.63c	1.67± 0.33c	1.21± 0.07a	14.10	6.64± 0.32d	0.47± 0.09b	6.12± 0.73d	1.85± 0.09d	1.11± 0.09c	16.19
中根 Medium root	5.88± 1.38d	0.42± 0.08c	7.34± 0.51c	1.96± 0.11a	1.26± 0.07a	16.86	7.70± 1.00d	0.52± 0.02b	5.71± 0.22d	1.54± 0.12ad	1.28± 0.27c	16.75
细根 Fine root	10.39± 1.32b	0.56± 0.10b	10.62± 0.49a	1.72± 0.02c	0.73± 0.02b	24.02	11.33± 1.24b	0.61± 0.03b	10.78± 0.67b	1.32± 0.04a	1.05± 0.04c	25.09

注:数值为平均值±标准差;同列不同字母表示不同器官差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: The data stand for the mean value ± standard error. Different letters in same column represent significant differences in various organs ($P<0.05$). The same below.

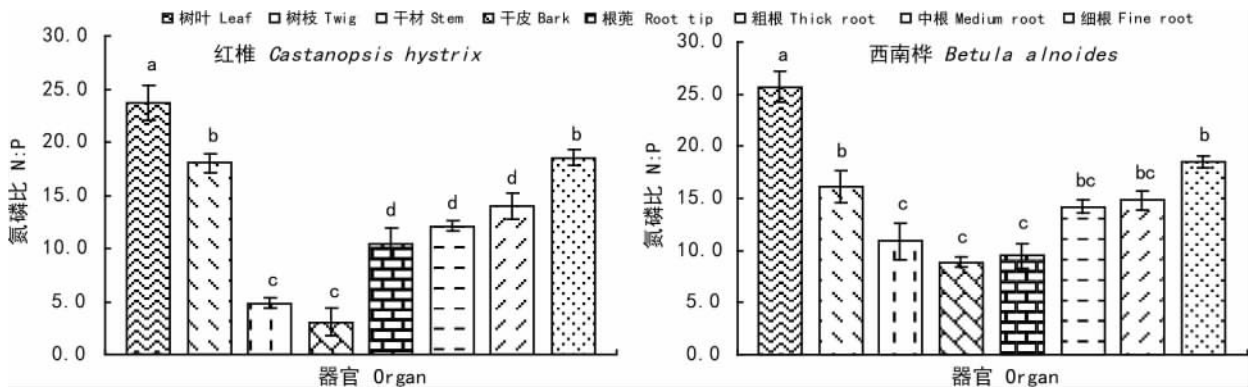


图 1 红椎和西南桦各器官的 N:P 各器官之间的不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Fig.1 N:P in the different organs of *Castanopsis hystrix* and *Betula alnoides*

Different letters indicate significant differences at the confidence level of $P < 0.05$ in the different organs.

表 3 红椎和西南桦各器官的营养元素储量

Table 3 Nutrient storages in various organs of *Castanopsis hystrix* and *Betula alnoides*

树种 Tree species	器官 Organ	单株生物量 Individual biomass (kg)	营养元素储量 Nutrient storage (g)					合计 Total
			N	P	K	Ca	Mg	
红椎 <i>Castanopsis hystrix</i>	树叶 Leaf	5.57	106.99	4.51	50.05	10.36	5.93	177.85
	树枝 Twig	29.84	279.89	15.52	268.85	58.31	34.92	657.48
	干材 Stem	131.49	322.15	39.45	685.06	116.14	110.43	1 273.22
	干皮 Bark	14.80	45.24	9.32	95.77	15.84	13.37	179.54
	根莖 Root tip	28.72	96.87	9.19	164.54	46.54	30.00	347.14
	粗根 Thick root	7.64	31.57	2.61	51.57	12.72	9.25	107.71
	中根 Medium root	0.65	3.83	0.27	4.78	1.28	0.82	10.97
	细根 Fine root	0.56	5.78	0.31	5.91	0.96	0.41	13.37
合计 Total	219.26	892.31	81.18	1 326.52	262.15	205.12	2 767.28	
西南桦 <i>Betula alnoides</i>	树叶 Leaf	3.70	86.57	3.37	50.36	5.07	5.44	150.81
	树枝 Twig	13.63	127.20	7.91	135.52	27.40	22.50	320.52
	干材 Stem	79.23	362.06	33.27	308.98	47.54	54.67	806.52
	干皮 Bark	17.81	93.67	10.56	125.02	31.57	19.95	280.77
	根莖 Root tip	8.95	42.26	4.46	35.97	10.23	9.15	102.07
	粗根 Thick root	2.21	14.70	1.03	13.55	4.10	2.47	35.85
	中根 Medium root	0.27	2.08	0.14	1.54	0.42	0.35	4.53
	细根 Fine root	0.22	2.55	0.14	2.43	0.30	0.24	5.65
合计 Total	126.03	731.09	60.89	673.36	126.62	114.76	1 706.72	

高于其它器官,而树枝和细根的 N:P 差异不显著 ($P > 0.05$)。红椎叶片的 N:P (23.70)与西南桦叶片 (25.69)相近但都远大于 16,由此推断,2 树种的生长受 P 的限制较严重。

2.2 红椎和西南桦各器官营养元素储量特征

2.2.1 营养元素储量及其分布 由表 3 可知,尽管红椎与西南桦单株林木各器官之间的生物量和营养元素含量均存在一定的差异,但红椎与西南桦各器官中营养元素总储量的分配基本一致,红椎为干材 (46.01%) > 树枝 (23.76%) > 根莖 (12.54%) > 干皮 (6.49%) > 树叶 (6.42%) > 粗根 (3.89%) > 细根 (0.48%) > 中根 (0.40%),西南桦为干材 (47.26%)

> 树枝 (18.78%) > 干皮 (16.45%) > 树叶 (8.84%) > 根莖 (5.98%) > 粗根 (2.10%) > 细根 (0.33%) > 中根 (0.27%)。

2 树种单株林木不同营养元素的储量差异较大 (表 3),但就不同营养元素储量占林木总储量比例来看,红椎表现为 K (47.94%) > N (32.25%) > Ca (9.47%) > Mg (7.41%) > P (2.93%),而西南桦则表现 N (42.84%) > K (39.45%) > Ca (7.42%) > Mg (6.72%) > P (3.57%),说明红椎与西南桦均对 N 和 K 元素具有较强的积累能力。

2.2.2 营养元素的利用效率 营养元素利用效率表征了植物对养分环境的适应和利用状况,常用生产

1 t 生物量所需的养分元素的量来表征,即生产 1 t 干物质消耗的营养元素量越少,则营养元素的利用效率越高。从表 4 看出,红椎和西南桦每生产 1 t 干物质需要 5 种营养元素总量的差异不显著 ($P > 0.05$),但红椎的 N 需要量 ($3.82 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$) 显著低于西南桦 ($5.67 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$) ($P < 0.05$),两者对其余 4 种元素的需要量差异不显著。红椎和西南桦对各营养元素的利用效率基本一致,表现为 $P > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{N}$ 或 K,其中,红椎的 Ca 与 Mg 之间以及西南桦的 Ca 与 Mg 间、N 与 K 间的差异不显著 ($P > 0.05$),说明 2 树种每生产 1 t 干物质对 N 和 K 元素需求量最大,对 P 元素则最小。

表 4 红椎和西南桦的各营养元素利用效率 ($\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$)
Table 4 Nutrient utilization efficiency of *Castanopsis*
hystrix and *Betula alnoides*

营养元素 Nutrient element	红椎 <i>Castanopsis hystrix</i>	西南桦 <i>Betula alnoides</i>
N	$3.82 \pm 0.53\text{Aa}$	$5.67 \pm 0.23\text{Ab}$
P	$0.36 \pm 0.02\text{Ba}$	$0.48 \pm 0.01\text{Ba}$
K	$5.95 \pm 0.23\text{Ca}$	$5.19 \pm 0.23\text{Aa}$
Ca	$1.18 \pm 0.08\text{Da}$	$0.97 \pm 0.05\text{Ca}$
Mg	$0.93 \pm 0.02\text{Da}$	$0.89 \pm 0.03\text{Ca}$
合计 Total	$12.30 \pm 0.84\text{a}$	$13.30 \pm 0.49\text{a}$

3 讨论与结论

红椎和西南桦平均单株各器官的 5 种营养元素 (N、P、K、Ca 和 Mg) 总含量的大小顺序为树叶 > 细根 > 树枝 > 中根 > 粗根 > 干皮 > 根莖 > 干材,说明树叶对营养元素具有高的富集能力,这是因为树叶既是合成有机物质的同化器官,又是代谢最活跃的器官,因此需要大量的营养元素向其输送来满足其生长和代谢的需求;细根具有较高的营养元素总含量,缘由它是吸收土壤养分最主要的器官;干材的生理功能最弱,其大多数养分已被转移或消耗,因而营养元素总含量也最低(何斌等,2007)。不同学者对我国亚热带地区的乡土针叶造林树种马尾松 (*Pinus massoniana*) (刘文飞等,2008)、杉木和秃杉 (*Taiwania flousiana*) (何斌等,2009)、以及阔叶造林树种厚荚相思 (*Acacia crassicarpa*) (秦武明等,2007)、马占相思 (*Acacia mangium*) (何斌等,2007) 和黑木相思 (*Acacia elanoxylon*) (何斌等,2012) 等的研究结果也表明树叶的 N、P、K、Ca 和 Mg 元素总含量最高而干材最低,但其余器官间无

一致规律。

红椎和西南桦树叶的各营养元素含量以 N 最高,其次是 K,然后是 Ca 和 Mg,P 最低;而且树叶的 N:P 表征 2 树种的生长受 P 的限制较严重。尽管 Koerselman *et al.* (1996) 关于植物叶片 N:P 的结论被广泛作为判断植物生长限制因子的指标(阎恩荣等,2008),但 Zhang *et al.* (2003) 对内蒙古草原植物的研究表明,叶片 N:P < 21 时受 N 的限制,N:P > 23 时受 P 的限制;Güsewell (2004) 提出,N:P < 10 时受 N 的限制,N:P > 20 时受 P 的限制。可见,N:P 升高到什么程度才是 P 限制,仍然是难以确定的一个临界值。一般认为,较低的 N:P 反映植物受到 N 限制,较高的 N:P 则受到 P 限制(刘兴诏等,2010)。另外,红椎和西南桦林地土壤 P 含量分别为 0.20 和 0.26 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,明显低于我国土壤 P 含量均值 ($0.56 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) (Han *et al.*, 2005),而且低纬度地区土壤中 P 缺乏已基本成为公认的事实 (Asner *et al.*, 2001; He *et al.*, 2002; Houlton *et al.*, 2008; 刘兴诏等,2010)。因此,应加强林地土壤 P 营养管理,如采取施用 P 肥等措施,从而进一步提高林木生产力。

除根莖之外,红椎与西南桦各器官中营养元素总储量的分配为干材 > 树枝 > 干皮 > 树叶 > 粗根 > 细根 > 中根。显然,这种分配关系与各器官营养元素总含量及其生物量大小有关,但主要由各器官生物量决定,比如 2 树种干材的营养元素总含量最低,但其生物量所占林木总生物量比例最高 (59.97% ~ 62.87%),故干材营养元素总储量最大。若将各器官分为树干(干材和干皮)、树冠(树枝和树叶)和树根(根莖、粗根、细根和中根),则红椎和西南桦树干的营养元素总储量占林木总储量分别为 52.50% 和 63.71%。因此,在林木采伐时,应只将树干带走,而将枝叶和树根留在林地中,让其自然分解而使林地土壤肥力得到补充。

红椎每生产 1t 干物质需要 5 种营养元素的总量 ($12.30 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$) 略小于西南桦 ($13.30 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$),但 2 树种均表现为对 N 和 K 需求量最大,对 P 则最小。这是因为红椎与西南桦不同器官各营养元素含量均以 N、K 最高和 P 最低,由此导致了 2 树种的 N 和 K 储量最高而 P 最低的结果,从而表现出 2 树种对 N 和 K 具有很强的吸收与积累能力以及对 P 的高效利用效率。同时,红椎对 N 的利用效率显著高于西南桦 ($P < 0.05$),这主要是由于西南桦全树平

均 N 含量($9.12 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)高于红椎($7.23 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)以及西南桦林地土壤全 N 含量($1.30 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)高于红椎($0.98 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)(表 1)的原故。因此,根据红椎与西南桦对各营养元素的吸收与积累特点,结合林地土壤养分状况,采用合理施肥措施对保证和促进林木持续生长具有重要作用。

参考文献:

- Asner GP, Townsend A, Riley WJ, et al. 2001. Physical and biogeochemical controls over terrestrial ecosystem responses to nitrogen deposition[J]. *Biogeochemistry*, **54**:1-39
- Chen YP(陈银萍), Zhang MX(张满效), Chen T(陈拓), et al. 2009. Seasonal changes of element concentrations in the leaves of *Sabina*(圆柏属常绿木本植物元素含量的季节动态)[J]. *Guihaia*(广西植物), **29**(3):315-320
- Güsewell S. 2004. N:P ratios in terrestrial plants; variation and functional significance[J]. *New Phytol*, **164**(2):243-266
- Han WX, Fang JY, Guo DL, et al. 2005. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China[J]. *New Phytol*, **168**(2):377-385
- He B(何斌), Qin WM(秦武明), Yu HG(余浩光), et al. 2007. Biological cycling of nutrients in different ages classes of *Acacia mangium* plantation(不同年龄阶段马占相思(*Acacia mangium*)人工林营养元素的生物循环)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **27**(12):5158-5167
- He B(何斌), Luo LJ(罗柳娟), Ling J(梁机), et al. 2009. Nutrient accumulation and distribution in *Taiwania flousiana* and *Cunninghamia lanceolata* plantation(速生阶段秀杉与杉木人工林营养元素积累及其分配特征)[J]. *J Fujian For Coll*(福建林学院学报), **30**(1):77-81
- He B(何斌), Wei SH(韦善华), Zhang W(张伟), et al. 2012. Biological cycling of nutrients in *Acacia elanoxylon* plantation(黑木相思人工林营养元素生物循环特征)[J]. *J Northeast For Univ*(东北林业大学学报), **40**(2):9-12, 29
- He YJ(何友均), Qin L(覃林), Li ZY(李智勇), et al. 2012. Carbon storage capacity of a *Betula alnoides* stand and a mixed *Betula alnoides* × *Castanopsis hystrix* stand in southern subtropical China: a comparison study(西南桦纯林与西南桦 × 红椎混交林碳贮量比较)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **32**(23):7586-7594
- He YQ, Zhu YG, Smith SE, et al. 2002. Interactions between soil moisture content and phosphorus supply in spring wheat plants grown in pot culture[J]. *J Plant Nutr*, **25**:913-925
- Houlton BZ, Wang YP, Vitousek PM, et al. 2008. A unifying framework for dinitrogen fixation in the terrestrial biosphere[J]. *Nature*, **454**:327-330
- Lu RK(鲁如坤). 2000. Methods of Soil Agricultural Chemical Analysis(土壤农业化学分析方法)[M]. Beijing(北京): Chinese Agricultural Science and Technology Press(中国农业科学技术出版社):107-182, 308-315
- Koerselman W, Meuleman AFM. 1996. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation[J]. *J Appl Ecol*, **33**(6):1441-1450
- Lin JP(林俊平). 2002. Analyses of the planting effects of different patterns of *Castanopsis hystrix*(红椎不同模式造林效果分析)[J]. *J Fujian For Sci Technol*(福建林业科技), **29**(3):59-61, 80
- Liu WF(刘文飞), Fan HB(樊后保), Xie YS(谢友森), et al. 2008. Nutrient accumulation and distribution in a *Masson pine* stand in northwestern Fujian(闽西北马尾松人工林营养元素的积累与分配格局)[J]. *Ecol Environ*(生态环境), **17**(2):708-712
- Liu XZ(刘兴沼), Zhou GY(周国逸), Zhang DQ(张德强), et al. 2010. N and P stoichiometry of plant and soil in lower subtropical forest successional series in southern China(南亚热带森林不同演替阶段植物与土壤中 N、P 的化学计量特征)[J]. *Chin J Plant Ecol*(植物生态学报), **34**(1):64-71
- Lü JX(吕建雄), Luo XQ(骆秀琴), Jiang JL(蒋佳荔), et al. 2006. Mechanical properties of *Castanopsis hystrix* and *Betula alnoides* plantation wood(红椎和西南桦人工林木材力学性质的研究)[J]. *J Beijing For Univ*(北京林业大学学报), **28**(2):118-122
- Pan J(潘坚). 2003. Breeding and cultivation of *Castanopsis hystrix*(红椎的繁育与栽培)[J]. *Pract For Technol*(林业实用技术), **2**:29-30
- Peng YH(彭玉华), Lu G(路刚), Hao HK(郝海坤), et al. 2012. Analysis on leaf nutrient elements of different *Castanopsis hystrix* provenances(不同种源红椎叶片营养元素分析)[J]. *J Southwest For Univ*(西南林业大学学报), **32**(5):37-41
- Qin L(覃林), He YJ(何友均), Li ZY(李智勇), et al. 2011. Allocation pattern of biomass and productivity for three Plantations of *Castanopsis hystrix*, *Pinus massoniana* and their mixture in south subtropical area of Guangxi, China(南亚热带红椎马尾松纯林及其混交林生物量和生产力分配格局)[J]. *Sci Sil Sin*(林业科学), **47**(12):17-21
- Qin WM(秦武明), He B(何斌), Qin SY(覃世赢), et al. 2007. Biological cycling of nutrients in *Acacia crassicarpa* plantation(厚荚相思人工林营养元素生物循环的研究)[J]. *J Soil Water Cons*(水土保持学报), **21**(4):103-107
- Wang QH(王庆华), Chen YP(陈玉培), Zheng HS(郑海水), et al. 1999. Study on variability of seedling stage of different *Betula alnoides* provenance(不同西南桦种源的苗期变异性研究)[J]. *Yunnan For Sci Technol*(云南林业科技), **1**:41-48
- Yan ER(阎恩荣), Wang XH(王希华), Zhou W(周武). 2008. N:P stoichiometry in secondary succession in evergreen broad-leaved forest, Tiantong, east China(天童常绿阔叶林演替系列植物群落的 N:P 化学计量特征)[J]. *Chin J Plant Ecol*(植物生态学报), **32**(1):13-22
- Zhang LX, Bai YF, Han XG. 2003. Application of N:P stoichiometry to ecology studies[J]. *Acta Bot Sin*, **45**(9):1009-1018
- Zhou C(周诚). 2007. Research overview and biological characteristics of precious timber tree species—*Castanopsis hystrix*(珍贵用材树种红椎的生物学特性与研究综述)[J]. *Jiangxi For Sci Technol*(江西林业科技), **5**:29-31