

9种桉树幼林营养元素累积特性研究

朱林生, 何沙娥, 刘学锋, 欧阳林男, 张维耀, 陈少雄*

(国家林业局桉树研究开发中心, 广东 湛江 524022)

摘要: 为了研究在相同立地和养分供给条件下, 不同桉树的生物量和营养元素(N、P、K)累积量及其分配特征, 以1年生9种桉树(尾叶桉、窿缘桉、细叶桉、大叶桉、赤桉、巨桉、粗皮桉、托里桉、大花序桉)为材料, 通过测定树根、树干、树皮、叶片、树枝5个器官的生物量以及氮、磷、钾含量, 了解养分吸收和分配情况, 揭示生物量构成特点。结果表明: 9种桉树总生物量最大的是赤桉, 为711.20 g 株⁻¹, 其次是托里桉、粗皮桉、巨桉、大叶桉、细叶桉、尾叶桉和大花序桉, 窿缘桉的生物量最小, 为69.20 g 株⁻¹。不同器官生物量分配规律为树干或叶片最大, 树根、树枝、树皮次之。不同器官营养元素含量为叶片最高, 树干最低。9树种营养元素累积总量由高到低排序为赤桉>托里桉>巨桉>大叶桉>粗皮桉>细叶桉>尾叶桉>大花序桉>窿缘桉, 各树种对3种元素累积量均为N最多, 其次是K, P最少; 9树种对N、P和K的吸收效率范围为分别为0.80%~7.69%, 0.11%~1.32%和0.61%~10.38%; 吸收效率最高的为赤桉, 最低的大花序桉, 而其他桉树对各元素的吸收效率规律各不相同。

关键词: 桉树; 器官; 营养元素; 累积特性

中图分类号: S725.5

文献标识码: A

Accumulation of Mineral Elements in Plantations of Nine Different *Eucalyptus* Species

ZHU Lin-sheng, HE Sha-e, LIU Xue-feng, OUYANG Lin-nan

ZHANG Wei-yao, CHEN Shao-xiong

(China Eucalypt Research Centre, Zhanjiang 524022, Guangdong, China)

Abstract: To investigate the distribution and accumulation characteristics of the biomass and nutrients under different *Eucalyptus* species, site and nutritional conditions were examined by measuring the biomass and nitrogen, phosphorus, potassium contents of five organ tissues of the trees (root, stem-wood, bark, leaf and branch) in nine eucalypt species: *Eucalyptus cloeziana*, *E. pellita*, *Corymbia torelliana*, *E. robusta*, *E. camaldulensis*, *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. exserta* and *E. tereticornis*. At age one year, the efficiencies of nutrient absorption as well as nutrient distribution were estimated to reveal the characteristic compositions of the biomass of the different species. The results showed that *E. camaldulensis* has the largest total biomass (711.20 g plant⁻¹), followed by *C. torelliana*, *E. pellita*, *E. grandis*, *E. robusta*, *E. tereticornis*, *E. urophylla*, *E. cloeziana*, and then *E. exserta*, the latter having the smallest biomass (69.20 g plant⁻¹). In all species, most of the biomass was found in leaves and stem-wood, and then in roots, branches and bark. Leaves were also found to have the highest nutrient contents, but stem-wood had the lowest nutrient contents. The total nutrient accumulation amounts of the nine species ranked from that with the highest to that with the lowest were: *E. camaldulensis*, *C. torelliana*, *E. grandis*, *E. robusta*, *E. pellita*, *E. tereticornis*, *E. urophylla*, *E. cloeziana* and *E. exserta*. Different *Eucalyptus* species showed coincident trends in the accumulation of the three nutrients, of which the accumulation of N was the highest, followed by K and P. The absorption efficiency of these three nutrients in the nine different species ranged from 0.80% to 7.69% for N, 0.11% to 1.32% for P, and 0.61% to 10.38% for K. *E. camaldulensis* was found to have highest absorption efficiency whilst *E. cloeziana* had the lowest, but absorption efficiencies for various elements in the other species showed no consistent rankings.

Key words: *Eucalyptus*; organs; nutrient elements; accumulation properties

基金项目: 广东省林业科技创新项目“桉树大径材与林下经济培育技术研究示范”(2016KJCX005); 国家重点研发计划课题“桉树大径材定向培育技术”(2016YFD0600502)。

作者简介: 朱林生(1992—), 男, 在读硕士研究生, 主要从事桉树定向培育研究, E-mail: ahau.oak@outlook.com.

***通讯作者:** 陈少雄(1965—), 男, 博士, 研究员, 主要从事桉树定向培育研究, E-mail: sxchen01@163.com.

桉树(*Eucalyptus*)为我国重要的速生树种之一,其自然分布主要在大洋洲,我国自1890年开始引种桉树,因其生长迅速、适应能力强,已在我国南方普遍种植并成为主要速生丰产林树种^[1]。桉树约占人工林面积的5.8%,每年生产2 000多万m³的木材,很好地满足了我国木材需求^[2]。施肥是保证桉树正常生长、优质高产的重要经营技术措施^[3]。梁坤南等^[4]对尾叶桉(*Europhylla*)MLA无性系幼林早期施肥,促进了无性系对营养元素吸收和累积;李宝福等^[5]通过研究发现,按一定比例施用尿素、复合肥、钙镁磷肥和硼肥具有显著促进桉树幼林生长的效应。了解植株生物量构成特点和营养特性可以为施肥提供依据,梁智等^[6]对核桃(*Juglans regia*)、杨波等^[7]对扁桃(*Amygdalus communis*)、王建等^[8]对猕猴桃(*Actinidia*)的生物量特点和营养特性进行研究,揭示了养分累计分配规律,从而指导合理施肥。桉树生物量和营养元素特征已有相关报道^[9-11],但不同树种之间特别是幼林时期桉树的生物量和营养元素特性的研究较少,该时期植株对于营养的需求量大,如巨桉(*E.grandis*)在林分郁闭之前的快速生长出现在第1年^[12],蓝桉(*E.globulus*)和亮果桉

(*E.nitens*)出现在第3~6年^[13]。同时,幼林时期叶片衰老率很低,营养再分配较弱,且根系尚不发达,植株生长受营养和水分供给的限制^[14],因此这一阶段林木对施肥十分敏感。本研究以分布于我国华南地区的尾叶桉等9种常见桉树为材料,在相同立地和养分供给条件下,测定1年生树根、树干、树皮、叶片、树枝5个器官的生物量以及氮、磷、钾含量,了解养分吸收和分配情况,揭示生物量构成特点,为桉树幼林科学施肥提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

本试验地设置于广东省湛江市南方国家级林木种苗示范基地(21°30'N, 111°38'E),位于北热带湿润大区雷琼区北缘,属海洋性季风气候,年平均气温23.1℃,极端低温1.4~3.6℃,极端高温38.1℃,全年降雨量为1 567 mm,5—9月份为雨季,占全年降雨量的85.5%,主要土壤类型为浅海沉积物砖红壤和玄武岩砖红壤^[15]。试验地土壤基本理化性质见表1。

表1 试验地各分层土壤的养分含量

土层深度 /cm	pH 值	有机质 /(g kg ⁻¹)	全氮 /(g kg ⁻¹)	全磷 /(g kg ⁻¹)	全钾 /(g kg ⁻¹)	有效氮 /(mg kg ⁻¹)	有效磷 /(mg kg ⁻¹)	有效钾 /(mg kg ⁻¹)
0~20	5.0	46.78	2.01	0.72	1.68	229.93	0.86	191.06
20~40	5.0	33.22	1.34	0.62	1.52	174.07	0.35	150.60
40~100	5.3	14.49	0.69	0.53	1.27	118.97	0.20	94.21

1.2 试验苗木

尾叶桉、巨桉、窿缘桉(*E.exserta*)、细叶桉(*E.tereticornis*)、大叶桉(*E.robusta*)、赤桉(*E.camaldulensis*)、粗皮桉(*E.pellita*)和托里桉(*Corymbia torelliana*)由南方国家级林木种苗示范基地培育,大花序桉(*E.cloeiziana*)购于广西国有东门林场。选择长势基本一致、无病虫害、健壮,苗高约20 cm的当年生苗。

1.3 试验方法

1.3.1 施肥处理

本试验9种桉树种植面积为0.8 hm²,共27个小区,试验采用完全随机区组设计,每树种3个重

复小区,50株一个小区,每个小区均设置5株作为对照(CK,不施肥),其余为施肥试验处理。2016年3月采用穴状整地,整穴规格50 cm×50 cm×40 cm,株行距规格2 m×3 m,于4月中旬施用氮、磷、钾比例6:12:6的桉树专用基肥422 g·穴⁻¹,2016年5月将9个树种随机种植于每个重复。10月对试验组进行追肥,氮、磷、钾比例为15:5:9的桉树专用复合肥,施肥量为225 g·株⁻¹。以上基肥和追肥量均为实际生产常用的施肥量。

1.3.2 生物量测量

2017年1月,对样地内的苗木进行树高和地径调查后,每树种每重复分别取施肥处理和不施肥处

理平均木各3株, 称量单株树根、树干、叶片、树皮、树枝5种器官的鲜重; 各器官分别取50g, 于105℃下杀青30min, 80℃烘干至恒重, 称重, 根据鲜重与干重比值换算单株各器官生物量, 将各器官生物量相加获得单株生物量。最后, 分树种取单株均值作为树种各器官生物量和整株生物量。

1.3.3 测定和计算方法

取上述烘干的样品, 将同一重复3株平均木分器官混样, 磨碎, 用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消解后进行元素含量测量。氮采用半微量凯氏法测定, 磷采用碱熔—钼锑抗比色法测定, 钾采用原子吸收仪测定。测定出不同器官氮、磷、钾含量后, 根据该含量换算为植株各器官氮、磷、钾累积量, 将各器官氮、磷、钾累积量相加即为植株氮、磷、钾总累积量。根据元素累积量计算养分吸收效率, 计算公式为: 养分吸收效率=(施肥处理N(或P、K)累积量-CK的N(或P、K)累积量)/施用N(或P、K)总量 $\times 100\%$ 。

1.4 数据处理

利用Excel 2016进行数据整理及绘图, 采用SPSS19.0进行方差分析和Duncan多重比较。

2 结果与分析

2.1 9种桉树及其器官生物量分配规律

9种桉树生物量如表2所示, 其中赤桉总生物量最大, 为711.20 g 株⁻¹, 其次是托里桉、粗皮桉、巨桉、大叶桉、细叶桉、尾叶桉和大花序桉, 窿缘桉的总生物量最小, 为69.20 g 株⁻¹。各器官生物量分配比为: 树根12.39%~35.96%, 树干20.42%~37.98%, 树皮4.91%~10.23%, 叶片22.26%~40.07%, 树枝7.82%~20.53%, 其中树干或叶片生物量分配比最大, 树皮或树枝生物量分配比最小。9树种各器官生物量分配比大小顺序略有不同, 托里桉、大叶桉、窿缘桉为叶片>树干>树根>树枝>树皮, 细叶桉和赤桉为树根>叶片>树干>树枝>树皮, 尾叶桉为树干>叶片>树根>树皮>树枝, 粗皮桉为树干>叶片>树根>树枝>树皮, 大花序桉为叶片>树干>树枝>树根>树皮, 巨桉的为叶片>树枝>树干>树根>树皮。总生物量最大的为赤桉, 其根部(地下部分)生物量分配比也较大, 为35.82%, 而生物量最小的大花序桉和窿缘桉, 地下部分生物量分配比较小。

表2 9种桉树及其器官生物量分配

树种	g 株 ⁻¹					
	树根	树干	树皮	叶片	树枝	总生物量
大花序桉	20.75 \pm 1.21ef	44.36 \pm 2.34de	13.15 \pm 1.53ef	67.08 \pm 5.57c	22.08 \pm 1.78de	167.42 \pm 8.31c
	12.39%	26.50%	7.86%	40.07%	13.19%	100%
粗皮桉	74.78 \pm 0.44cd	100.91 \pm 7.74b	32.89 \pm 3.12ab	93.52 \pm 9.63bc	39.23 \pm 5.21cd	344.14 \pm 5.71b
	22.54%	29.32%	9.56%	27.18%	11.40%	100%
托里桉	138.04 \pm 16.64b	151.89 \pm 16.46a	32.80 \pm 2.97ab	236.41 \pm 18.21a	109.30 \pm 13.32a	668.44 \pm 30.56a
	20.65%	22.72%	4.91%	35.37%	16.35%	100%
大叶桉	61.54 \pm 1.12d	90.49 \pm 6.77bc	29.03 \pm 2.90bc	99.54 \pm 14.70bc	34.76 \pm 3.75d	315.36 \pm 25.33b
	19.51%	28.69%	9.20%	31.57%	11.02%	100%
赤桉	254.76 \pm 20.40a	153.13 \pm 4.95a	36.87 \pm 1.85a	210.85 \pm 21.57a	55.59 \pm 2.34bc	711.20 \pm 43.73a
	35.82%	21.53%	5.18%	29.65%	7.82%	100%
巨桉	46.59 \pm 4.10de	64.44 \pm 10.28cd	23.09 \pm 1.70cd	116.69 \pm 7.56b	64.80 \pm 9.13b	315.62 \pm 29.07b
	14.76%	20.42%	7.32%	36.97%	20.53%	100%
尾叶桉	59.12 \pm 9.15d	102.94 \pm 7.01b	25.17 \pm 2.81cd	60.35 \pm 11.86c	23.48 \pm 3.64de	271.05 \pm 33.74b
	21.81%	37.98%	9.29%	22.26%	8.66%	100%
窿缘桉	14.56 \pm 2.31f	19.33 \pm 0.81e	7.08 \pm 1.19f	19.74 \pm 3.82d	8.5 \pm 1.56e	69.20 \pm 2.18d
	21.04%	27.93%	10.23%	28.53%	12.29%	100%
细叶桉	104.87 \pm 10.17c	65.52 \pm 9.07cd	20.23 \pm 2.58de	67.51 \pm 12.69c	33.51 \pm 1.69d	291.63 \pm 33.70b
	35.96%	22.47%	6.94%	23.15%	11.49%	100%

注: 同列数字后不同小写字母表示 $P<0.05$, 下同。各行数字下方百分比数据为不同树种各器官占总生物量的比例。

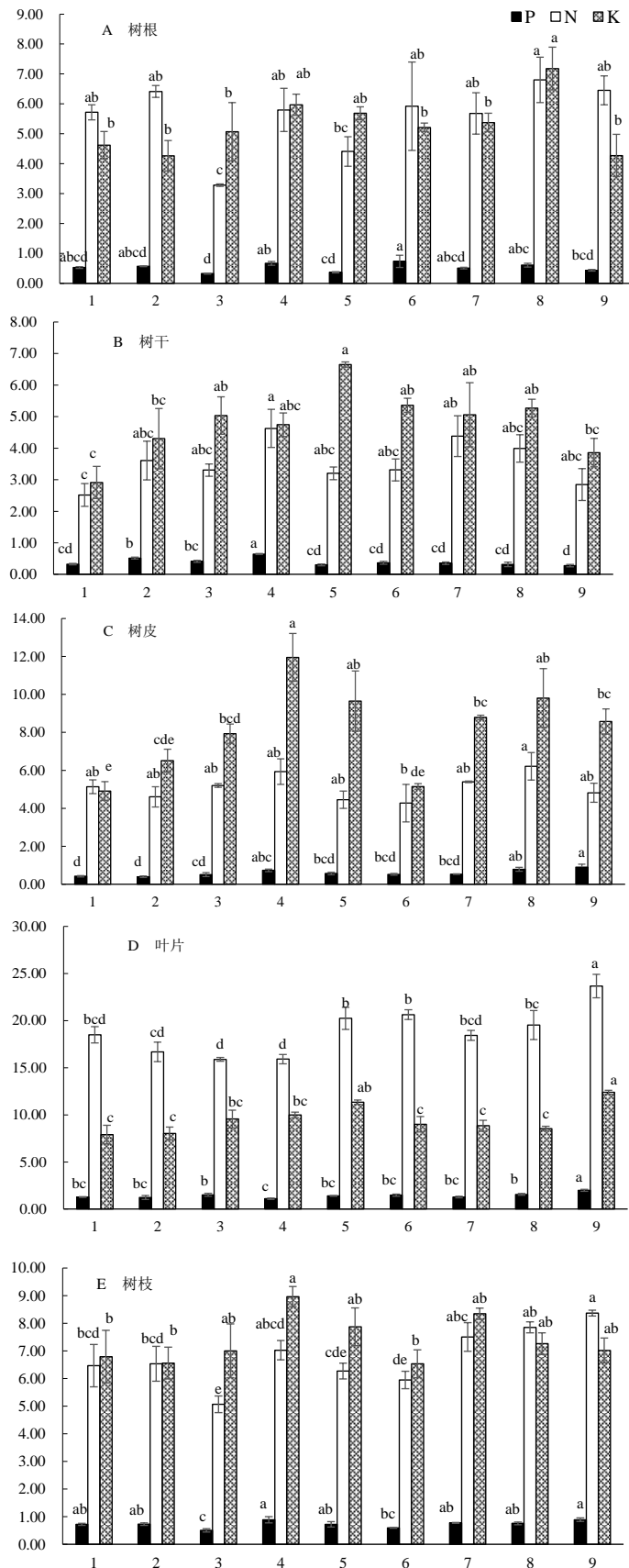


图1 9种桉树各个器官N、P、K含量/(g kg⁻¹)

注：1. 横坐标1~9分别表示大花序桉、粗皮桉、托里桉、大叶桉、赤桉、巨桉、尾叶桉、窿缘桉、细叶桉；2. 不同小写字母表示 $P < 0.05$ ，下同。

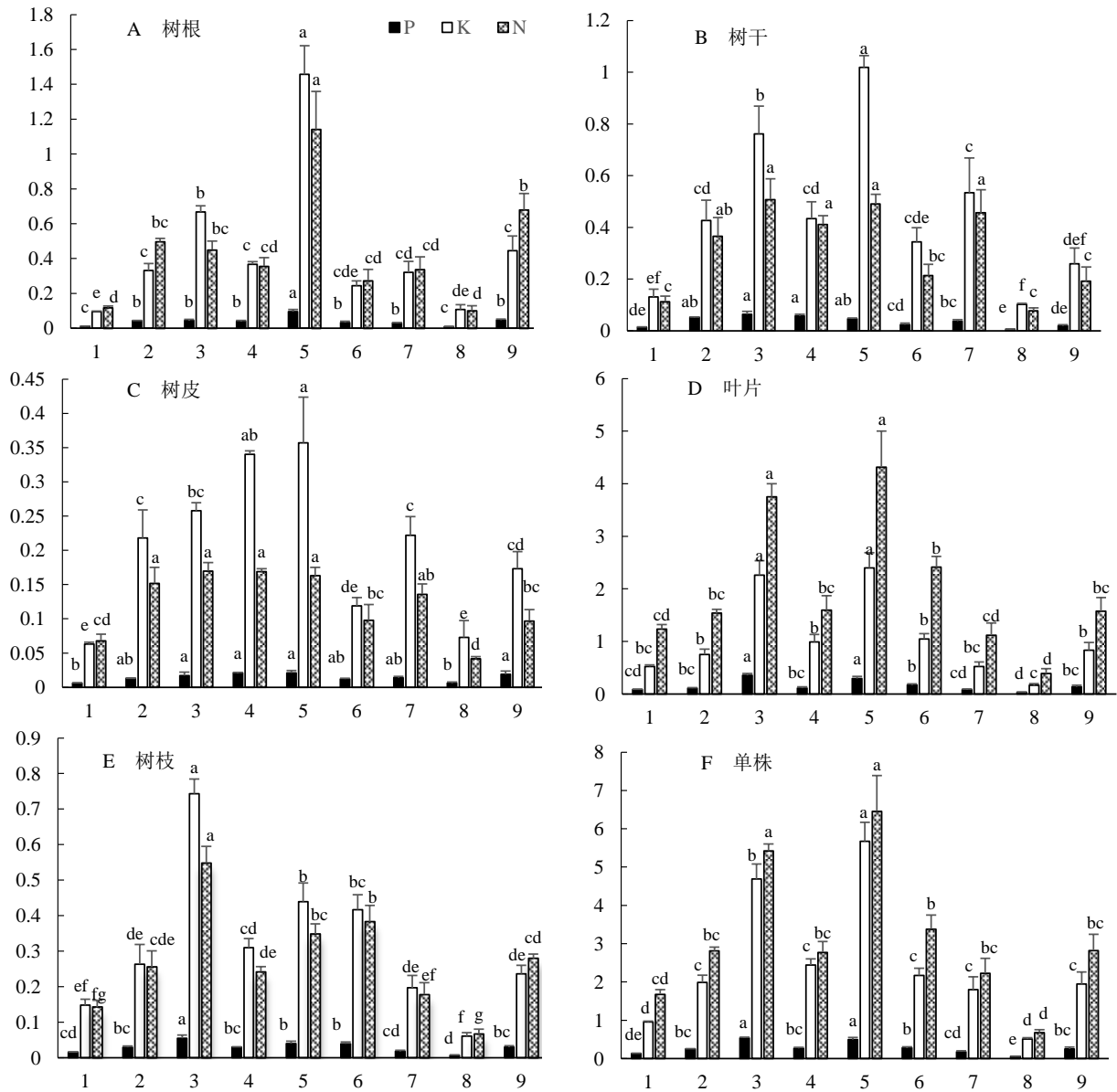


图 2 9 种桉树 N、P、K 累积量/(g 株⁻¹)

2.2 9 种桉树不同器官养分含量

9 种桉树各器官氮、磷、钾含量如图 1 所示, 比较同一元素在不同器官中的总量表明: 叶片中氮、磷、钾含量均高于其他各器官, 树枝次之, 树干的最低。比较 3 种元素在同一器官中的含量发现: 各器官中 P 含量最低; 树干、树皮和树枝中 K 含量最高; 叶片中 N 含量最高。不同树种同一器官中各元素含量差异较大: 窿缘桉树根的氮和钾含量最高, 巨桉树根磷含量最高(图 1 A); 大叶桉树干的氮和磷含量最高, 赤桉树干的钾含量最高(图 1 B); 树皮氮、磷、钾含量最高的分别是窿缘桉、细叶桉和大叶桉

(图 1 C); 细叶桉叶片的氮、磷、钾含量最高(图 1 D); 细叶桉树枝的氮含量最高, 大叶桉树枝的磷和钾含量最高(图 1 E)。

树根是植株吸收营养的主要器官, 通常将大量的营养物质传递给叶片, 维持着较低的养分含量。树干和树皮元素含量大小顺序为钾>氮>磷。树干以木质素为主, 生理功能较弱, 大部分营养物质消耗或转移, 因而氮、磷、钾含量基本均最低; 树皮是营养和水分运输通道所在器官, 钾素较氮素含量高。叶片作为植株同化器官的, 是光合作用合成有机物的场所, 代谢活跃, 氮、磷、钾含量均高于其他各

器官, 氮、磷、钾 3 种元素含量大小为氮>钾>磷。树枝是养分吸收部位树根和叶片光合同化之间运输营养物质的枢纽, 元素含量仅次于叶片。按照氮、磷、钾的含量大小排序可以大致为叶片>树枝>树皮>树根>树干。

2.3 9 种桉树营养元素累积分配特性

9 个树种各器官营养元素累积情况如图 2 A-E 所示: 树根部分赤桉氮、磷、钾素累积量最大, 分别为 1.14 g 株⁻¹、0.10 g 株⁻¹、1.46 g 株⁻¹(图 2 A); 树干以赤桉的氮素和钾素的累积量为最大, 以托里桉磷素的累积量为最大(图 2 B); 树皮磷素和钾素均以赤桉的累积量为最大, 氮素以托里桉的累积量为最大(图 2 C); 叶片氮素和钾素均以赤桉的累积量为最大, 以托里桉磷素的累积量为最大(图 2 D); 树枝以托里桉的氮素、磷素、钾素的累积量为最大, 分别为 0.55 g 株⁻¹、0.06 g 株⁻¹、0.74 g 株⁻¹(图 2 E)。9 个树种中, 赤桉和托里桉各部位的营养元素累积量最大, 而大花序桉和窿缘桉 5 个部位的营养元素累积量均较小。5 个器官中, 叶片的营养元素累积量较大, 其中叶片的氮素累积量占整个植株的氮素累积量为 50.22% ~ 73.64%, 其次是树干、树枝、树根, 树皮氮素累积量最小。

9 个树种各营养元素总累积量均以赤桉的氮、磷、钾的累积量为最大(图 2 F), 氮、磷、钾累积吸收比例为 12.96:1:11.37, 每株平均累积吸收氮 6.46 g、磷 0.50 g、钾 5.67 g; 其次是托里桉、巨桉、大叶桉、粗皮桉、细叶桉、尾叶桉, 氮磷钾累积吸收比例分别为 10.11:1:8.74、12.05:1:7.74、10.57:1:9.30、11.33:1:8.01、11.33:1:7.80、12.71:1:10.26; 大花序桉和窿缘桉氮磷钾累积量均最小, 吸收比例分别为 12.68:1:7.24 和 11.75:1:8.80。虽然 9 个树种营养元素累积比例有所差异, 但其累积量均为氮>钾>磷, 说明不同桉树树种对营养元素的累积具有相似性。

2.4 9 种桉树的养分利用效率

养分吸收效率反映了氮、磷、钾的吸收情况。由表 3 可知, 9 种桉树氮素吸收效率范围为 0.80% ~ 7.69%, 其中赤桉最高, 为 7.69%, 是平均值的 2.84 倍; 托里桉、细叶桉、巨桉、粗皮桉次之, 4 个树种之间无显著差异($P>0.05$); 尾叶桉、大叶桉、窿

缘桉和大花序桉吸收效率较差, 比平均值低 30.6% ~ 70.5%; 大花序桉氮素吸收效率最低。磷素吸收效率范围为 0.11% ~ 1.32%, 其中赤桉和托里桉较高, 分别为 1.32% 和 1.20%, 是平均值的 2.28 和 2.10 倍; 细叶桉、大叶桉、巨桉、粗皮桉和尾叶桉次之, 5 个树种间差异不显著($P>0.05$); 窿缘桉和大花序桉的吸收效率最低。钾素吸收效率范围为 0.61% ~ 10.38%, 赤桉吸收效率最高, 为 10.38%, 为平均值的 3.13 倍; 托里桉、细叶桉、大叶桉、尾叶桉、巨桉、粗皮桉和窿缘桉次之, 大花序桉最低。

表 3 9 种桉树养分吸收效率 %

树种	养分吸收效率		
	N	P	K
大花序桉	0.80±0.21d	0.11±0.02d	0.61±0.05c
粗皮桉	1.96±0.16bcd	0.37±0.03bcd	1.11±0.49c
托里桉	4.12±0.29b	1.20±0.09a	5.76±1.02b
大叶桉	1.75±0.47cd	0.59±0.11b	2.98±0.43c
赤桉	7.69±1.57a	1.32±0.19a	10.38±1.32a
巨桉	2.07±0.61bcd	0.49±0.10bc	2.21±0.50c
尾叶桉	1.88±0.66cd	0.32±0.11bcd	2.65±0.90c
窿缘桉	0.97±0.12cd	0.17±0.03cd	1.06±0.09c
细叶桉	3.17±0.71bc	0.66±0.18b	3.09±0.84c
平均值	2.71±0.44	0.58±0.085	3.32±0.60

3 讨论和结论

在 1 年生的 9 种桉树中, 赤桉每株平均生物量最大, 为 711.20 g, 是生物量最小窿缘桉的 10.3 倍, 其次是托里桉、粗皮桉、巨桉、大叶桉、细叶桉、尾叶桉和大花序桉; 9 种树种平均生物量均高于同龄针叶中等速生树种杉木(*Cunninghamia lanceolata*)的 52.99 g 株⁻¹[16], 这与桉树速生性有关。9 种桉树不同器官生物量排序基本一致, 树干或叶片部生物量的分配比最大, 其次是树根, 树皮或树枝所占整个植株的生物量分配比最小。树根是植株吸收营养的主要器官, 树根生物量比例的增加有利于植株养分吸收[17]。本研究结果显示, 作为生物量最大的赤桉, 树根生物量占整个植株生物量比例较大, 而生物量最小的大花序桉和窿缘桉, 树根生物量占整个植株生物量比例也相应较小, 表明增加树根的生物量分

配比例可促进养分的吸收, 从而提高了整个植株的生物量。

叶片作为植株的同化器官, 是光合作用合成有机物的场所, 代谢活跃, 而树根是植株吸收营养的主要器官, 通常将大量的营养物质传递给叶片; 树干以木质素为主, 生理功能较弱, 大部分营养物质消耗或转移。本研究结果显示, 9 种桉树不同器官的氮、磷、钾元素含量均以叶片最高, 其次是树枝、树皮和树根, 树干营养元素含量最低, 说明代谢旺盛的器官其营养元素含量较高。5 种器官中 3 种元素含量均表现为氮素和钾素较高, 而磷含量最低, 这与秃杉(*Taiwania flousiana*)人工林^[18]营养分配特征一致。在同一器官中, 9 种桉树之间氮、磷、钾含量存在显著差异, 表明桉树对于氮、磷、钾吸收具有树种特异性。

有研究指出^[19], 施肥不足, 不能满足植株生长发育所需营养; 施肥过量, 植株会出现营养过剩甚至毒害作用, 两者均会影响植株生长。本研究探讨了 9 种桉树的氮、磷、钾元素累积分布情况, 为桉树合理施肥提供参考, 但 9 种树种之间氮、磷、钾总累积量不同, 赤桉的氮磷钾总累积量最大, 为 12.63 g 株⁻¹, 托里桉、巨桉、大叶桉、粗皮桉、细叶桉、尾叶桉和大花序桉次之, 窿缘桉的累积量最小。因此, 在实际施肥过程中, 需要考虑树种特性, 但对于每个树种最佳的施肥量, 有待进一步研究。

在施肥过程中, 除了施肥量, 各种营养元素施肥比例也很关键。白晶晶等^[20]研究表明, 氮、磷、钾 3 种肥均为 12 g 株⁻¹ 时, 能够显著提高楸树(*Catalpa bungei*)苗木生物量, 以及氮、磷、钾含量和氮肥利用效率。早期研究表明, 与施肥量比较, 施肥比例对蓝桉生长的影响更加重要, 具体的施肥比例需求因树种而异^[21]。植株的生物量和养分吸收累积量是制定配方施肥的根据之一^[22-23], 本研究结果显示, 赤桉、托里桉、巨桉、大叶桉、粗皮桉、细叶桉、尾叶桉、大花序桉和窿缘桉的氮磷钾累积量分别是 12.96:1:11.37、10.11:1:8.74、12.05:1:7.74、10.57:1:9.30、11.33:1:8.01、11.33:1:7.80、12.71:1:10.26、12.68:1:7.24 和 11.75:1:8.80, 说明这 9 种桉树各养分元素比例的需求不同, 赤桉、托里

桉和巨桉前期生长较快的树种, 需要施氮肥和钾肥配比相当配方肥, 但每个树种具体配方施肥元素配比还需下一步研究。

本研究表明, 氮、磷、钾吸收效率在树种水平上存在差异, 其中赤桉 3 种元素吸收效率均最高, 大花序桉均最低。9 个桉树树种对 3 种元素养分吸收效率均低于同龄的楸树^[24]、普陀樟(*Cinnamomum japonicum*)^[25]和长白落叶松(*Larix olgensis*)^[26], 甚至 9 个月生的尾巨桉(*E.urophylla* × *E.grandis*) 无性系 DH32-29^[15], 其氮、磷、钾吸收效率分别为 44.00%、14.24% 和 43.38%, 远高于本研究的各养分吸收效率。这可能与杂交种相对纯种桉树而言有更好的适应生长能力有关, 且本试验施肥量是根据实际生产常用施肥量来确定的, 而传统施肥存在“施肥越多生长越好”的思想, 因此, 实际施肥量常常大于桉树本身需求量, 从而降低了养分利用效率。因此, 明确树种对养分的需求, 是合理施肥, 减少浪费和环境污染必不可少的解决方案。

参考文献

- [1] 祁述雄. 中国桉树(第 2 版)[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002.
- [2] 陈少雄, 陈小菲. 我国桉树经营的技术问题与思考[J]. 桉树科技, 2013, 30(3): 52-59.
- [3] 林书蓉, 李淑仪. 短轮伐期桉树人工林科学施肥的研究[J]. 林业科学研究, 1999, 12(3): 275-282.
- [4] 梁坤南, 周文龙, 李贻铨. 施肥对尾叶桉 MLA 无性系幼林生物量及养分含量的影响[J]. 林业科学研究, 2004, 17(3): 327-333.
- [5] 李宝福, 俞元春, 林志鹏, 等. 桉树幼林施肥的养分间交互效应及合理施肥方案研究[J]. 中国土壤与肥料, 2011(4): 38-44.
- [6] 梁智, 周勃, 邹耀湘. 核桃树体生物量构成及矿质营养元素累积特性研究[J]. 果树学报, 2012, 29(1): 139-142.
- [7] 杨波, 车玉红, 郭春苗, 等. 扁桃树体生物量构成及微量元素累积特性研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(34): 89-92.
- [8] 王建, 同延安. 猕猴桃树对氮素吸收、利用和贮存的定量研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(6): 1170-1177.
- [9] 周弘愿, 何斌, 韦建宏, 等. 桂西南两种桉树人工幼林生物

- 量、营养元素积累量及其分布特征[J]. 桉树科技, 2015,32(2):29-33.
- [10] 周群英,陈少雄,韩斐扬,等.尾细桉等 5 种桉树无性系生物量和能量的比较研究[J].林业科学研究,2010,23(1):18-24.
- [11] 朱宇林,何斌,杨钙仁,等.尾巨桉人工林营养元素积累及其生物循环特征[J].东北林业大学学报,2012,40(6):8-11.
- [12] Cromer R N, Cameron D M, Rance S J, et al. Response to nutrients in *Eucalyptus grandis*. 1. Biomass accumulation[J]. Forest Ecology and Management, 1993, 62(1/4):231-243.
- [13] Davidi F, Johnj C, Jimd M. Transpiration along an age series of *Eucalyptus globulus* plantations in southeastern Australia[J].Forest Ecology and Management,2010, 259(9):1754-1760.
- [14] Forrester D I, Medhurst J L, Wood M, et al. Growth and physiological responses to silviculture for producing solid-wood products from *Eucalyptus* plantations: an Australian perspective[J].Forest Ecology and Management,2010,259(9):1819-1835.
- [15] 李慧.桉树基肥利用率与需肥量研究[D].北京:中国林业科学研究院,2012.
- [16] 刘欢,王超琦,吴家森,等.氮素指数施肥对 1 年生杉木苗生长及氮素积累的影响[J].浙江农林大学学报,2017,34(3):459-464.
- [17] 王满莲,冯玉龙.紫茎泽兰和飞机草的形态、生物量分配和光合特性对氮营养的响应[J].植物生态学报,2005,29(5):697-705.
- [18] 何斌,黄恒川,黄承标,等.秃杉人工林营养元素含量、积累与分配特征的研究[J].自然资源学报,2008,23(5):903-910.
- [19] 郝龙飞,刘婷岩,张连飞,等.氮素指数施肥对白桦播种苗养分承载和光合作用的影响[J].北京林业大学学报,2014,36(6):17-23.
- [20] 白晶晶,吴俊文,何茜,等.不同配方施肥对楸树幼苗生物量分配及养分利用的影响[J].华南农业大学学报,2015,36(6):91-97.
- [21] Cromer R N, Cameron D, Cameron J N, et al. Response of eucalypt species to fertiliser applied soon after planting at several sites[J].Australian Forestry,1981,44(1):3-13.
- [22] 张爱华,阮云泽,董存明,等.配方施肥对香蕉生物量及养分积累的影响[J].中国农学通报,2015,31(31):141-145.
- [23] 郑文法.香蕉 N、P、K 养分需求规律初探[J].安徽农学通报,2012,18(11):82-84.
- [24] 王力朋,李吉跃,王军辉,等.指数施肥对楸树无性系幼苗生长和氮素吸收利用效率的影响[J].北京林业大学学报,2012,34(6):55-62.
- [25] 陈闻,王晶,叶正钱,等.施肥对普陀樟苗木生长及养分吸收利用的影响[J].浙江农林大学学报,2014,31(3):358-366.
- [26] 康瑶瑶,刘勇,马履一,等.施肥对长白落叶松苗木养分库氮磷吸收及利用的影响[J].北京林业大学学报,2011,33(2):31-36.