

缓释肥加载对 3 种珍贵树种大规格容器苗生长和 N、P 库构建的影响

肖 遥¹, 楚秀丽^{1*}, 王秀花², 张东北², 叶定文², 周志春¹

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江省林木育种技术研究重点实验室, 浙江 杭州 311400;

2. 浙江省庆元县实验林场, 浙江 庆元 323800)

摘要:针对南方红豆杉、浙江楠和浙江樟 3 种珍贵树种 2 年生大规格优质容器苗的培育需求, 系统研究了缓释肥加载量对其生长、根系发育、生物量积累和分配以及 N、P 养分积累的影响。结果表明:(1)缓释肥加载量为 $1.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时南方红豆杉地径达到最大值, $2.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 缓释肥加载量能有效促进浙江樟苗高增长。缓释肥加载对南方红豆杉根、叶和总生物量积累具有显著影响;(2)南方红豆杉和浙江樟总根长、根体积和根系表面积均在 $3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 缓释肥加载量下达到最大, 而 $2.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 缓释肥加载量则可满足浙江楠根体积和根表面积的增长;(3) $3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 缓释肥加载量有助于 3 个树种 2 年生容器苗养分库中 N 素的积累, 但较低缓释肥加载量 ($1.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) 利于浙江楠 P 素养分库的构建。养分含量的提高在一定范围内可促进容器苗生长和养分库中养分的积累, 而养分含量过高不仅抑制容器苗生长, 还会引起养分在苗木体内的再分配。综合考虑, 建议对南方红豆杉和浙江樟 2 年生容器苗采用 $1.67 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ N 素和 $0.74 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ P 素的施肥水平进行培育, 而培育浙江楠 2 年生容器苗宜采用 $1.67 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ N 素和 $0.32 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ P 素施肥水平。

关键词:南方红豆杉; 浙江楠; 浙江樟; 容器苗; 缓释肥加载

中图分类号: S723.1

文献标识码: A

Effect of Slow-release Fertilizer Loading on Growth and N, P Accumulation of Container-growing Seedlings for Three Precious Tree Species

XIAO Yao¹, CHU Xiu-li¹, WANG Xiu-hua², ZHANG Dong-bei², YE Ding-wen², ZHOU Zhi-chun¹

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Tree Breeding of Zhejiang Province, Hangzhou 311400, Zhejiang, China; 2. Experimental Forest Farm of Qingyuan County, Zhejiang Province, Qingyuan 323800, Zhejiang, China)

Abstract: The effect of slow-release fertilizer (SRF) loading on growth, root development, biomass accumulation and allocation and N, P accumulations of *Taxus wallichiana* var. *mairei*, *Phoebe chekiangensis* and *Cinnamomum chekiangense* were systematically studied. The results are as follows. (1) The maximum ground diameter of *T. wallichiana* var. *mairei* appeared at $1.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ of the SRF treatment. The $2.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ SRF treatment could effectively promote seedling height of *C. chekiangense*, and SRF had significant effects on *T. wallichiana* var. *mairei*'s leaf, root and total biomass accumulation. (2) The root volume, length and surface of both the *T. wallichiana* var. *mairei* and *C. chekiangense* reached the maximum values under the treatment of $3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ SRF, while the $2.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ SRF could meet the demand of *P. chekiangensis*' growth in root volume and root surface area. (3) The N accumulation of the 3 kinds of seedlings benefited from $3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ SRF. However, the lower SRF was good for the construction of P reserves of *P. chekiangensis*. Apparently, increasing concent of nutrients would promote the

收稿日期: 2015-03-20

基金项目: 2014 年林业科技成果国家级推广项目 ([2014] 06 号); 国家农业科技成果转化资金项目 (2013GB24320603)

作者简介: 肖 遥 (1990—), 男, 四川成都人, 在读硕士研究生, 主要从事珍贵树种选育种研究。

* 通讯作者: 河南商丘人, 助理研究员, 博士。E-mail: xiulic0207@163.com

growth and nutrient accumulation of seedlings, exceeding concent of nutrients not only limited the growth but also led to redistribution of nutrients. According to the results, the optimum fertilizing dose of N was 1.67g per plant for these three kinds of seedlings, and it was best to fertilize phosphorus at 0.74 g per plant to *T. wallichiana* var. *mairei* and *C. chekiangense*, respectively, while 0.32 g per plant should be better for *P. chekiangensis*.

Key words: *Taxus wallichiana* var. *mairei*; *Phoebe chekiangensis*; *Cinnamomum chekiangense*; container-growing seedling; slow-release fertilizer loading

容器育苗是培育苗木的一种重要而高效的措施,与裸根苗相比,容器苗起苗和运输不伤根系,栽植时带有完整的根团,能有效延长造林时间及显著提高造林成活率^[1],同时,容器苗能实现产业化生产,且苗木规格和生长可保持一致。容器苗培育中养分加载对苗木生长有很大的调控作用,Birge等^[2]对北美红栎(*Quercus rubra* L)和美洲白栎(*Q. alba* L)的研究发现,生长季对其容器苗连续18周施加0.42~3.35 g氮肥,可使2种苗木干物质量分别增加113%~260%和49%~144%。缓释肥作为当今一种新型的高效肥料,它比水溶性肥等常规肥料释放缓慢,具有养分释放与植物吸收基本同步的特点^[3-4],对于容器苗养分库的构建也有较好的改善与促进作用^[5]。

珍贵木材是国家的战略资源,而我国多依靠进口,加强珍贵木材资源培育是尽快缓解和解决我国珍贵用材缺口及主要依靠进口的唯一途径。南方红豆杉(*Taxus wallichiana* var. *mairei* (Lemée et H. Léveillé) L. K. Fu et Nan Li)、浙江楠(*Phoebe chekiangensis* C. B. Shang)和浙江樟(*Cinnamomum chekiangense* Sieb)等均为我国南方省区重点发展的珍贵树种,而且南方红豆杉被列为国家一级珍稀濒危保护植物,具有药用、材用和观赏等多种价值。浙江楠是楠木的一种,素以材质优良而闻名,为珍贵高档建筑、家具、雕刻和精密模具的良材^[6]。浙江樟为我国特有的珍稀树种,其材质优良、树干通直,树形美观,也适合做行道树及园林绿化树种。目前,多数珍贵树种1年生轻基质容器育苗技术已趋成熟,包括木荷(*Schima superb* Gardn. et Champ.)^[7-8]、南方红豆杉、红豆树(*Ormosia hosiei* Hemsl. et Wils)^[9]、赤皮青冈(*Cyclobalanopsis gliva* (Blume) Oerst)^[10]和闽楠(*Phoebe bournei* (Hemsl.) Yang)^[11]等;然而,实践表明,珍贵树种1年生容器苗因生长缓慢,加之南方山地杂灌丛生,其造林效果较差,生产上急需解决大规格容器苗培育技术。本文主要研究缓释肥加载量对南方红豆杉、浙江楠和浙江樟2年生容器苗生长、

根系发育及N、P养分积累的影响,以确定适宜3种珍贵树种施用的缓释肥加载量,为培育出生长健壮、根系发达、养分含量高的容器苗提供理论依据和科学指导,最终实现其2年生容器苗造林。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为浙江省庆元县实验林场培育的优质1年生南方红豆杉、浙江楠和浙江樟轻基质容器苗,所选用的1年生容器苗长势均一,苗高、地径控制在一个水平,且苗木根系经空气切根,根系状况也基本一致。其平均苗高分别为20、30、30 cm,地径分别为3.0、5.0、4.0 mm。采用规格15 cm×15 cm的无纺布容器袋,选用美国生产的爱贝斯(Apex)长效缓释肥(其全氮含量为180 g·kg⁻¹,有效磷含量为80 g·kg⁻¹,全钾含量为80 g·kg⁻¹,肥效9个月)。

该林场位于119°01'25" E,27°38'48" N,海拔510 m,属亚热带季风气候,温暖湿润,年平均气温17.6℃,年降水量1721.3 mm,无霜期245 d。容器育苗钢构大棚内设有自动喷雾设施,大棚通风性能良好,同时也能有效防止雨水渗入,棚高2.2 m,顶盖覆有70%透光率的遮阳网。

1.2 试验设计

采用基质配方为:35%泥炭+40%谷壳+25%黄泥(按体积比),其中,泥炭、谷壳和黄泥中N、P养分含量低,对不同缓释肥加载量处理影响很小。在前期对1年生容器苗缓释肥加载量研究的基础上,本研究设置3种缓释肥加载量,试验前按每立方米基质中分别施加1.5 kg(F1)、2.5 kg(F2)和3.5 kg(F3)的缓释肥进行基质与缓释肥混合,搅拌均匀后用于苗木的培育。采用完全随机区组试验设计,3次重复,每小区30袋,3树种共810袋。2013年3月下旬,当培育的1年生容器苗长到一定大小后及时将其移植至15 cm×15 cm的大规格无纺布容器袋中。移植初期置于遮阳网下,及时浇水,并长期保持基质湿润、大棚通风,保证苗木水分和氧含量供应

充足。培育过程中其它措施同常规容器育苗。

1.3 材料处理和数据分析

于 2013 年 11 月下旬,量测各树种试验处理容器苗的苗高和地径,每试验小区随机选取 10 株生长正常的容器苗,用 WinRHIZO STD 1600 + 型根系图像分析系统(加拿大 REGENT 公司)测定苗木的根系长度、根表面积及根体积等根系形态参数;然后将容器苗分根、茎和叶 3 部分,经 105 °C 杀青 30 min,再在 80 °C 下烘干至恒质量,测定各部位的干物质质量。利用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮法对称取的样品进行消煮,然后用凯氏定氮法测定其 N 含量,钼锑抗比色法测定其 P 含量,N 和 P 含量测定值均为季末容器苗养分积累水平。采用 Excel 2007 软件进行数据处理及制图,使用 SPSS 20.0 软件进行方差分析和 Duncan's 检验。

2 结果与分析

2.1 缓释肥加载对 3 个树种 2 年生容器苗生长的影响

2.1.1 容器苗生长和根系发育 单因素方差分析结果(表 1)显示:F1 缓释肥水平即能满足南方红豆杉地上部分良好生长,而浙江樟苗高在 F2 缓释肥水平下得到了显著提高,3 种缓释肥处理对浙江楠地

上部分生长影响不显著。除浙江楠根体积外,3 个树种根表面积、根体积和总根长均在 F3 水平下达到最大。多重比较结果表明:F2 水平下浙江楠根系生长较 F1 水平表现出显著性增长,其中,总根长在 F3 水平下达到最大,显著优于其它 2 种水平。当缓释肥加载量由 F2 提高到 F3 时,南方红豆杉总根长和其余根系指标分别增长 28.9% 和 45% 以上,浙江樟各项根系指标增长也达 45% 以上。总体分析,3 个树种根系发育对养分的需求大于地上部分,对于 2 年生容器苗而言,植株处于根系发育占优势阶段,此时施肥其根系较先利用养分以迅速生长,利于植株更好地吸收养分和水分,同时根系也起到良好的固定作用。

2.1.2 干物质积累及分配 从表 2 可以看出:除茎外,南方红豆杉各部位生物量的缓释肥加载效应显著,根、叶干质量及整株干物质质量均在 F3 水平下最大,较 F2 水平根、茎和叶生物量分别增加了 30.90%、18.67% 和 46.14%,而相对于 F1 水平生物量积累没有显著性差异。不同缓释肥加载量对浙江楠和浙江樟生物量积累影响不显著,表明 F1 施肥水平已能满足浙江楠和浙江樟生物量积累的需求。缓释肥加载在一定程度上影响了浙江樟根冠比的大小,F1 水平浙江樟的根冠比显著大于 F2 水平。

表 1 缓释肥加载量对 3 个树种容器苗生长的影响

树种	缓释肥加载量/ (kg · m ⁻³)	苗高/cm	地径/mm	总根长/cm	根表面积/cm ²	根体积/cm ³
南方红豆杉	1.5(F1)	65.45 ± 11.04ab	7.83 ± 0.80a	2 796.83 ± 879.12ab	845.43 ± 564.53b	20.50 ± 6.52b
	2.5(F2)	61.95 ± 10.96b	7.10 ± 1.21b	2 425.99 ± 1 161.70b	725.22 ± 360.23b	17.51 ± 9.31b
	3.5(F3)	67.94 ± 5.29a	7.76 ± 0.89a	3 127.90 ± 950.51a	1 142.11 ± 328.73a	33.48 ± 9.35a
	P 值	0.097	0.021 *	0.060	<0.001 **	<0.001 **
浙江楠	1.5(F1)	87.86 ± 10.97a	10.22 ± 1.34a	1 882.68 ± 538.41c	587.60 ± 155.13b	15.16 ± 3.87b
	2.5(F2)	86.65 ± 12.09a	10.38 ± 1.37a	2 322.45 ± 842.20b	726.58 ± 255.73a	19.03 ± 6.82a
	3.5(F3)	83.55 ± 10.96a	10.49 ± 0.94a	2 719.05 ± 641.87a	780.07 ± 171.74a	18.48 ± 4.07a
	P 值	0.403	0.739	<0.001 **	0.004 **	0.022 **
浙江樟	1.5(F1)	59.58 ± 15.27b	8.65 ± 1.82a	2 174.86 ± 974.24ab	644.13 ± 286.75b	15.52 ± 7.10b
	2.5(F2)	67.10 ± 10.11a	9.03 ± 1.27a	1 830.49 ± 716.40b	549.89 ± 212.85b	13.36 ± 5.34b
	3.5(F3)	69.06 ± 10.61a	9.08 ± 1.43a	2 663.23 ± 892.17a	809.03 ± 272.62a	19.82 ± 7.01a
	P 值	0.022 *	0.563	0.006 **	0.004 **	0.004 **

注:不同小写字母代表 5% 的显著性差异,下同。

2.2 缓释肥加载对 3 个树种 2 年生容器苗不同器官 N、P 累积量的影响

2.2.1 N 累积量 整体上 3 个树种的 N 素积累均随着缓释肥加载量的增加呈上升趋势(图 1)。不同缓释肥加载量下 3 个树种部分器官或整株 N 累积量的差异显著或极显著(表 3)。3 个树种整株 N 累积

量均在 F3 水平下达到最大值,较 F1 水平分别增长了 21.6%、22.0% 和 22.4%,较 F2 水平增长 40.1%、15.2% 和 9.2%。在 F3 水平下,南方红豆杉叶中 N 累积量占总量的 53.3%,较 F1 和 F2 水平高出 18.3% 和 46.5%,说明高缓释肥加载量下叶是其最主要的 N 素养分库;而浙江楠和浙江樟根中 N 累积

表 2 缓释肥加载量对 3 个树种容器苗单株生物量积累和分配的影响

树种	缓释肥加载量/ (kg · m ⁻³)	根干质量/g	茎干质量/g	叶干质量/g	整株干物质质量/g	根冠比
南方红豆杉	1.5 (F1)	7.59 ± 2.46ab	11.88 ± 3.90a	8.80 ± 2.96a	28.27 ± 6.08a	0.39 ± 0.15a
	2.5 (F2)	6.70 ± 2.97b	9.75 ± 3.72a	6.61 ± 2.72b	23.06 ± 6.61b	0.40 ± 0.12a
	3.5 (F3)	8.77 ± 2.61a	11.57 ± 4.43a	9.66 ± 3.30a	29.99 ± 8.36a	0.44 ± 0.16a
	P 值	0.034 *	0.149	0.002 **	0.003 **	0.395
浙江楠	1.5 (F1)	13.48 ± 2.71a	21.12 ± 5.93a	16.17 ± 4.73a	50.77 ± 9.59a	0.38 ± 0.11a
	2.5 (F2)	14.19 ± 4.97a	21.13 ± 6.83a	17.46 ± 5.56a	52.78 ± 12.84a	0.38 ± 0.12a
	3.5 (F3)	14.03 ± 3.70a	19.96 ± 5.47a	16.84 ± 4.71a	50.83 ± 7.73a	0.39 ± 0.11a
	P 值	0.803	0.749	0.673	0.744	0.945
浙江樟	1.5 (F1)	7.42 ± 2.68a	9.09 ± 2.97a	6.49 ± 3.03a	23.00 ± 5.56a	0.49 ± 0.18a
	2.5 (F2)	6.42 ± 2.23a	9.53 ± 3.23a	7.09 ± 3.01a	23.03 ± 5.68a	0.39 ± 0.10b
	3.5 (F3)	6.80 ± 1.89a	9.00 ± 3.72a	7.67 ± 2.16a	23.47 ± 4.93a	0.43 ± 0.16ab
	P 值	0.311	0.841	0.338	0.944	0.082

量最高,提高缓释肥加载量后浙江楠根中 N 累积量显著提高。F3 水平下,浙江樟根中 N 素养分向地上部分转移,此时苗木可能已经达到奢养状态,高浓度

缓释肥加载量使其体内养分发生了再分配。可见缓释肥加载对苗木养分库构建有明显调控作用。

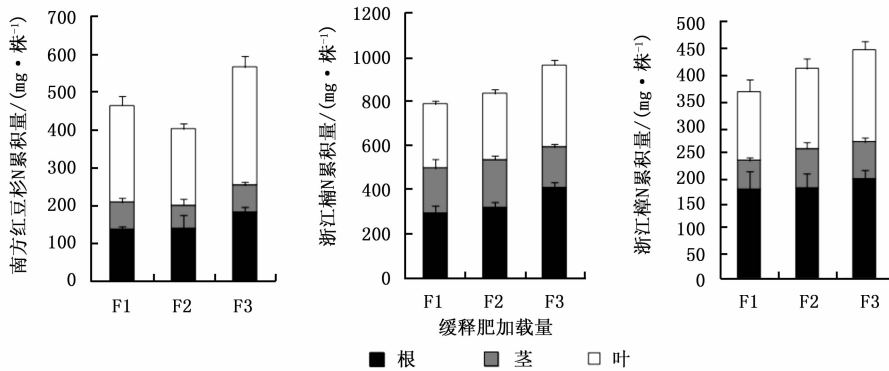


图 1 缓释肥加载量对 3 个树种容器苗 N 累积量的影响

表 3 容器苗 N、P 累积量单因素方差分析 (F 值)

变异来源	树种	Df	根	茎	叶	整株
N 累积量	南方红豆杉	2	13.14 **	3.03	53.57 **	56.12 **
	浙江楠	2	41.81 **	4.12 *	48.50 **	33.20 **
	浙江樟	2	1.74	11.47 **	12.82 **	14.72 **
P 累积量	南方红豆杉	2	11.68 **	0.45	10.36 **	14.86 **
	浙江楠	2	1.99	18.12 **	4.23 *	16.04 **
	浙江樟	2	2.73	0.75	19.22 **	9.55 **

注: * 表示 5% 显著性差异, ** 表示 1% 显著性差异。

2.2.2 P 累积量 缓释肥处理对 3 个树种各部位 P 累积量产生了显著影响(表 3)。F3 水平极显著提高了南方红豆杉根和叶中 P 的累积量,随着缓释肥水平从 F1 升至 F3 时,其 P 素养分也逐渐从地上向地下部位转移(图 2)。由图 2 也可以看出:浙江樟 P 累积量随着缓释肥加载量增加而呈梯度上升状态,其整株 P 累积量从 F1 水平的 19.2 mg 达到 F3 水平的 24.5 mg,增加了 27.6%。不同于南方红豆杉,浙

江樟 P 素养分随着缓释肥浓度的提高逐渐向地上部分转移。从 P 累积量总量分析,根和叶为这两树种主要的 P 素养分库。缓释肥浓度提高,浙江楠茎和叶中 P 累积量却显著降低,F1 水平下其茎的 P 累积量分别高出根和叶 11.4% 和 14.2%。可见,较低施肥水平下有利于浙江楠对 P 素养分的吸收利用。

2.3 缓释肥加载对 3 个树种 2 年生容器苗 N、P 含量的影响

2.3.1 N 含量 多重比较结果显示:缓释肥加载对 3 个珍贵树种 N 含量影响显著(图 3)。南方红豆杉根中 N 含量在 F2 缓释肥加载量下达到最大,而叶和整株 N 含量在 F3 水平下达到最大,分别为 32.04 mg · g⁻¹和 18.84 mg · g⁻¹,其中,叶的 N 含量远大于根和茎的 N 含量,表明叶中 N 素含量的提高促使了养分库中 N 素的积累;随着缓释肥加载量从 F1 提升到 F3,浙江楠各部位及整株 N 含量显著上升,基本在 F3 水平呈现最大值。浙江楠根中 N 含量在 F3

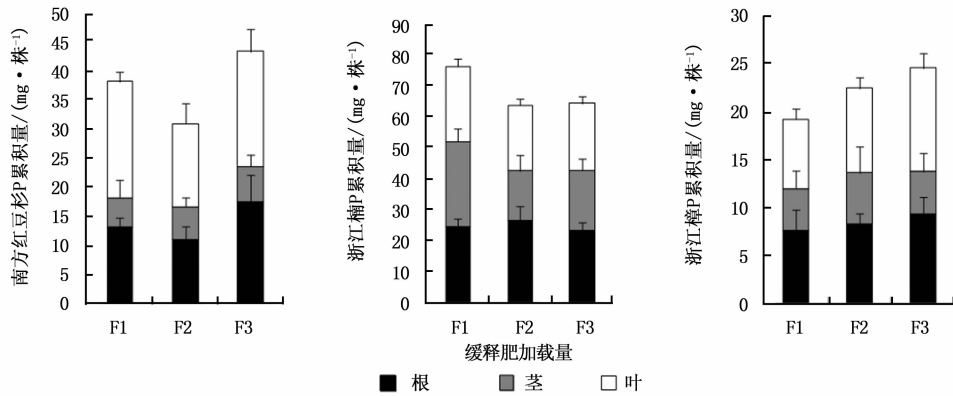


图2 缓释肥加载量对3个树种容器苗P含量的影响

水平下达到最大值(29.08 mg·g⁻¹),较F1水平提高13.06%,说明增施缓释肥有助于提高浙江楠根系的N素含量。浙江樟根中N含量在F2和F3施肥水平下差异不显著,较F1水平下平均提高约17%,F2施肥水平即能满足其对N素的需求。浙江楠和浙江樟根中N素养分含量明显高于其它部位,同样促使根成为其主要的N素养分库。

2.3.2 P含量 不同缓释肥加载量对南方红豆杉各部位P含量影响均不显著,但对浙江楠和浙江樟P含量影响显著(图4)。浙江楠整株P含量在F1

施肥水平下出现最大值(1.54 mg·g⁻¹),高出最小值26.2%,随着缓释肥量的增加,浙江楠各部位P含量下降,可见缓释肥加载量过高对浙江楠P的吸收与利用有一定的抑制作用。F2与F3施肥水平下浙江樟各部位P含量差异不显著,F2施肥水平下其P素养分可能已经达到奢侈状态,所以在F3施肥水平下浙江樟根中P素养分向叶中转移。由图4可见:浙江楠和浙江樟根中P含量都处于较高的状态,由此判断,根作为二者2年生容器苗主要P素养分源,同时也扮演其P素养分库的角色,这与它们都是深根性乔木的生物学特性有关。

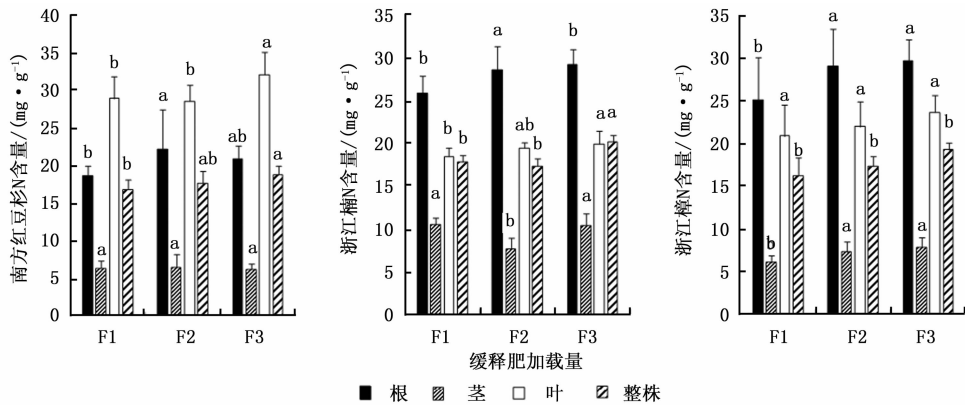


图3 缓释肥加载量对3个树种容器苗N含量的影响

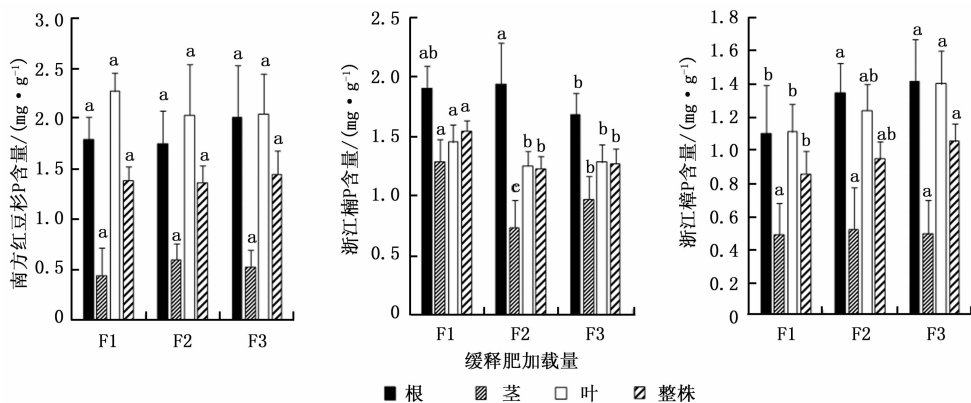


图4 缓释肥加载量对3个树种容器苗P含量的影响

3 结论与讨论

研究表明:不同缓释肥加载量在一定范围内对3种珍贵树种2年生容器苗生长具有明显的调节和改善作用。增施缓释肥促进了南方红豆杉地径及浙江樟苗高的生长,这与何贵平等^[12]研究的缓释肥加载显著提高了1年生柏木(*Cupressus funebris* Endl.)容器苗生长的结果类似。3种珍贵树种大规格容器苗的各项根系发育参数都表现出在较高缓释肥加载量($3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)下最优。这与王艺等^[11]研究的浙江楠1年生容器苗根系在 $2.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 缓释肥加载量下生长最优的结果不同,可能原因在于苗龄不同导致植株根系对养分的吸收和响应发生了变化,2年生容器苗根系生长更加旺盛,对养分的需求也相对较高。虽然南方红豆杉和浙江楠在较低缓释肥加载量下地上生长就得以满足,但是若要培养生长量大、根系发达的2年生大规格容器苗,对3个树种施加 $3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 的缓释肥最为适合。根据无纺布容器袋规格为 $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$,缓释肥全氮含量为 $180 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效磷含量为 $80 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,换算得出 $0.72 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ N素和 $0.32 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ P素的缓释肥即可满足南方红豆杉和浙江楠地上部分生长的需求,高于此浓度苗木地上生长处于奢侈状态,导致过多养分的浪费;而采用 $1.19 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ N素和 $0.53 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ P素的缓释肥对浙江樟地上部分生长效果最佳。施加 $1.67 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ N素和 $0.74 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ P素缓释肥能有效促进3种珍贵树种容器苗根系体积增加、长度增长和表面积增大。

本研究结果显示,在一定范围内缓释肥加载量的大小不影响浙江楠和浙江樟生物量积累与分配,但 $3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 缓释肥加载量能促进南方红豆杉根和叶生物量的积累。在生产上施加低浓度缓释肥($1.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)即可满足浙江楠和浙江樟生物量的积累。这与杨喜田等^[13]研究的不同缓释肥施肥量对白榆(*Ulmus pumila* L.)、刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)和猪屎豆(*Crotalaria assamica* Benth.)3种植物地上部位干物质质量影响各不相同的结果类似。可见,植物自身生物学特性不同,对养分的需求也不同,因此,随着缓释肥加载量的增加其生物量积累和分配也不一致。

不同缓释肥加载量对3种珍贵树种2年生容器苗养分库构建具有显著影响。3个树种N素累积量都在 $3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 缓释肥加载量下达到最高,魏红旭

等^[14]对长白落叶松(*Larix olgensis* Henry)养分库构建的研究中同样表明,高量缓释肥有利于苗木N、P养分累积量和含量的提高。从N素总量看,浙江楠对N肥的需求高于其它2个树种,在育苗过程中N肥的用量可以适当提高。从浙江楠N素养分库构建分析1年生容器苗N累积量在各器官中累积量大小依次是叶>根>茎^[11],而本研究的浙江楠2年生大规格容器苗N素养分在各器官的累积量则发生了变化,为根>叶>茎。由此可见,2年生大规格容器苗根系发育优越,养分更足,更加适合容器苗造林。不同于N素积累,浙江楠P素积累在 $1.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 缓释肥水平下最高。因此,培育浙江楠容器苗,应根据苗木实际养分缺失情况来施加缓释肥或改变缓释肥中N素和P素比例。缓释肥加载同样改变了3个树种N、P养分含量。N素水平上,施肥水平提高南方红豆杉和浙江楠N含量呈上升趋势,浙江樟N含量无显著变化;P素养分则不同,施肥水平提高南方红豆杉P含量变化不大,浙江楠P含量下降,而浙江樟P含量上升。这种差异的出现可能在于不同树种对于不同养分的需求不同,对浙江楠而言,N素是其主要的限制养分,需求也较大,提高N素养分加载会对P素养分有一定的稀释作用。南方红豆杉同样对N素养分需求更高,而浙江樟则相反,在闽楠等容器苗缓释肥加载研究中出现相似的结果^[11]。考虑到不同植物养分限制性和稀释效应也不同,以养分累积量作为衡量缓释肥加载水平优越与否的指标更加合理。

总之,不同缓释肥加载量影响了3个树种容器苗养分的吸收与积累,显著改善了容器苗体内养分累积量状况,对其后期造林成活率有极大的改善作用。Salifu等^[15]也认为,利用缓释肥加载能够提高容器苗中N、P的积累量,对容器苗造林的最终成效有着重要作用。另外,植物对于N、P养分的积累和利用效率存在差异,每株200 mg以上N素时,其叶片N含量仍在增加,而P含量处于较稳定的值^[16]。Oliet等^[17]也研究了缓释肥类型对苗木养分积累的影响,同样得出肥料中N、P含量的不同对其植株养分积累有不同效果;所以,对苗木的施肥不能仅仅考虑用量,肥料的类型以及养分比例都是重要因素,这方面后期还需进一步研究探讨。

参考文献:

- [1] Edward R W, Kristjan C V, Andrew P. Root characteristics and growth potential of container and bare-root seedlings of red oak

- (*Quercus rubra* L.) in Ontario, Canada[J]. *New Forests*, 2007, 34(2):163-176.
- [2] Birge Z K D, Salifu K F, Jacobs D F. Modified exponential nitrogen loading to promote morphological quality and nutrient storage of bare-root-cultured *Quercus rubra* and *Quercus alba* seedlings[J]. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2006, 21(4):306-316.
- [3] 赵秉强, 张福锁, 廖宗文, 等. 我国新型肥料发展战略研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(5):536-545.
- [4] 奚振邦. 缓释化肥再认识[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(4):578-583.
- [5] Cuesta B, Vega J, Villar-Salvador P, et al. Root growth dynamics of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill) seedlings in relation to shoot elongation, plant size and tissue nitrogen concentration[J]. *Trees*, 2010, 24(5):899-908.
- [6] 李冬林, 金雅琴, 向其柏. 我国楠木属植物资源的地理分布、研究现状和开发利用前景[J]. *福建林业科技*, 2004, 31(1):5-9.
- [7] 马雪红, 胡根长, 冯建国, 等. 基质配比、缓释肥量和容器规格对木荷容器苗质量的影响[J]. *林业科学研究*, 2010, 23(4):505-509.
- [8] 袁冬明, 林 磊, 严春风, 等. 木荷轻基质网袋容器育苗技术研究[J]. *南京林业大学学报:自然科学版*, 2011, 35(6):53-58.
- [9] 周志春, 刘青华, 胡根长, 等. 3种珍贵用材树种轻基质网袋容器育苗方案优选[J]. *林业科学*, 2011, 47(10):172-178.
- [10] 王素娟. 基质、施肥对青冈栎和赤皮青冈容器苗生长的影响[D]. 临安:浙江农林大学, 2012.
- [11] 王 艺, 王秀花, 吴小林. 缓释肥加载对浙江楠和闽楠容器苗生长和养分库构建的影响[J]. *林业科学*, 2013, 49(12):57-63.
- [12] 何贵平, 麻建强, 冯建民, 等. 珍贵用材树种柏木轻基质容器育苗试验研究[J]. *林业科学研究*, 2010, 23(1):134-137.
- [13] 杨喜田, 杨 臻, 董惠英. 植物幼苗生长对缓释肥种类和施肥水平的反应[J]. *中国水土保持科学*, 2008, 6(1):122-126.
- [14] 魏红旭, 徐程扬, 马履一, 等. 缓释肥和有机肥对长白落叶松容器苗养分库构建的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(7):1731-1736.
- [15] Salifu K F, Jacobs D F, Birge Z K D. Nursery nitrogen loading improves field performance of bareroot oak seedlings planted on abandoned mine lands[J]. *Restoration Ecology*, 2009, 17(3):339-349.
- [16] 陈 琳, 曾 杰, 徐大平, 等. 氮素营养对西南桦幼苗生长及叶片养分状况的影响[J]. *林业科学*, 2010, 46(5):35-40.
- [17] Oliet J, Planelles R, Segura J L, et al. Mineral nutrition and growth of containerized *Pinus halepensis* seedlings under controlled-release fertilizer[J]. *Scientia Horticulturae*, 2004, 103(1):113-129.