

缓释肥 N/P 养分配比及加载量对 3 种珍贵树种 大规格容器苗生长的影响

李峰卿^{1,3}, 王秀花², 楚秀丽^{1*}, 张东北², 吴小林¹, 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; 3. 中国林业科学研究院亚热带林业实验中心, 江西 分宜 336600)

摘要: [目的] 研究缓释肥 N/P 养分配比及加载量对南方红豆杉、浙江楠和浙江樟苗木生长发育的影响, 以科学指导大规格容器苗的高效培育。[方法] 试验采用析因设计, 研究 N/P 养分配比(1.75:1、2.25:1、2.75:1 和 3.25:1) 及其加载量(1.5 kg·m⁻³、2.5 kg·m⁻³、3.5 kg·m⁻³ 和 4.5 kg·m⁻³) 对 3 种珍贵树种 2 年生容器苗生长、株高生长节律、干物质积累及叶片 SPAD 值等影响。[结果] 缓释肥 N/P 养分配比及加载量对 3 个树种容器苗生长及 SPAD 值影响不一。南方红豆杉、浙江楠和浙江樟干物质积累及根冠比在不同 N/P 养分配比间差异不大, 浙江樟苗木生长受 N/P 养分配比影响较小, 随着 N/P 养分配比增加, 明显促进了浙江楠容器苗生长, 却抑制了南方红豆杉的生长。缓释肥加载量对 3 个树种 2 年生容器苗生长和干物质积累的影响均达到极显著水平, 随着缓释肥加载量增加可明显地促进 3 种树种株高、地径生长及干物质积累, 增加了浙江楠地上干物质积累及南方红豆杉地下干物质积累, 而对浙江樟根冠比影响未达统计学显著水平, 但均显示加载量在 3.5 kg·m⁻³ 时达到最大值。N/P 养分配比及与加载量的互作对 3 个树种苗木生长和干物质积累影响不明显, 说明 N/P 养分配比对 3 个树种容器苗生长和质量的影响不因加载量的改变而变化或变化不大, 反之亦然。随着缓释肥 N/P 养分配比的增加, 可明显地延长南方红豆杉苗木株高的线性生长期, 提高浙江楠株高的线性生长量, 但对浙江樟株高的线性生长影响不明显。3 种树种苗木叶片 SPAD 值差异很大, N/P 养分配比及加载量并未改变 3 种树种叶片 SPAD 值动态变化规律, 但随着 N/P 养分配比提高使南方红豆杉和浙江樟叶片 SPAD 值的起伏强度增大, 3 个树种 SPAD 值动态变化均随加载量增加而增大。[结论] 南方红豆杉大规格容器苗培育较适宜的 N/P 养分配比为 A1(1.75:1) 或 A2(2.25:1), 而浙江楠和浙江樟为 A3(2.75:1), 加载较高量的缓释肥 F3(3.5 kg·m⁻³) 可明显促进 3 种树种大规格容器苗的生长及 SPAD 值的提高, 但加载量超过一定限度后, 反而影响苗木的生长发育。

关键词: 南方红豆杉; 浙江楠; 浙江樟; N/P 配比; 缓释肥加载量; 大规格容器苗

中图分类号: S723.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2017)05-0743-08

Effects of N/P Ratio and Loading on the Growth of Container Seedling of Three Precious Tree Species

LI Feng-qing^{1,3}, WANG Xiu-hua², CHU Xiu-li¹, ZHANG Dong-bei², WU Xiao-lin¹, 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, Qingyuan 323800, Zhejiang, China; 3. Experimental Center of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fenyi 336600, Jiangxi, China)

Abstract: [Objective] To study the effect of slow-release fertilizer (SLF) N/P ratio and loading on the growth of *Taxus wallichiana* var. *mairei*, *Phoebe chekiangensis* and *Cinnamomum chekiangense*. [Method] In this study, with

收稿日期: 2016-10-13

基金项目: 浙江省省院合作林业科技项目(2016SY03、2017SY19); 国家林业局林业科学技术国家级推广项目([2014] 06 号)。

作者简介: 李峰卿(1980—), 女, 山东德州人, 工程师, 博士研究生, 主要从事珍贵树种育种与培育技术研究。

* 通讯作者: E-mail: xiulic0207@163.com

two factors of N/P ratio (1.75:1, 2.25:1, 2.75:1 and 3.25:1) and SLF loading ($1.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $2.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ and $4.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), a factorial experimental design was applied to study the Growth (seedling height, root diameter and biomass accumulation), growth rhythm and SPAD of two-year-old container seedlings of the three species. [Result] The growth and SPAD value of the container seedlings (two-year-old) of the 3 species as affected by N/P ratio and SLF loading were different. The biomass accumulation and root-shoot ratio of *T. wallichiana* var. *mairei*, *Ph. chekiangensis* and *C. chekiangense* varied slightly in N/P ratio. With the increase of N/P ratio, the growth of *Ph. chekiangensis* was promoted, but the growth of *T. wallichiana* var. *mairei* was inhibited. The effect of SRF on the growth and biomass accumulation of 2-year-old container seedlings among the three species all reached the extremely significant level, and with increasing SRF loading, the seedling height, ground diameter and biomass accumulation were obviously enhanced, coupled with the below-ground biomass accumulation of *T. wallichiana* var. *mairei* and above-ground of *Ph. chekiangensis* increased, but which had no statistically significant effect to root-shoot ratio of *C. chekiangense*, with the optimum of SLF at F3 ($3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$). The growth and biomass accumulation of the three species were affected slightly by N/P ratio and the interaction with SLF loading, and vice versa. With the increase of N/P ratio, the sustainable growth of *T. wallichiana* var. *mairei* was extended and the total linear growth of *Ph. chekiangensis* was also enhanced, while the same situation was not found for *C. chekiangense*. The APAD value of the seedling leaves of the tree species differed a lot, but the APAD value was not affected by N/P ratio and SLF loading. However, as the N/P ratio and SLF loading added, the fluctuation strength of SPAD value of *T. wallichiana* var. *mairei* and *C. chekiangense* increased, so did the dynamic variation rule of SPAD among all the three species. [Conclusion] The optimum ratio was 1.75:1 or 2.25:1 to *T. wallichiana* var. *mairei*, 2.75:1 to *Ph. chekiangensis* and *C. chekiangense*, Loading amount of $3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ could enhance the growth and SPAD value of all the three species evidently, but it would have the side effects once overcommitted.

Keywords: *Taxus wallichiana* var. *mairei*; *Phoebe chekiangensis*; *Cinnamomum chekiangense*; N/P ratio; slow-release fertilizer loading; large-size container seedling

容器苗具有育苗周期短、可有效延长造林时间、提高造林成活率及促进幼林生长等优点^[1],是造林生产中最重要苗木类型。目前,1年生容器苗培育技术已比较成熟^[2-3],我国南方很多珍贵树种均用其造林。然而实践表明,在与杂灌竞争条件下,1年生容器苗造林的成效较差,抚育成本较高,亟需解决2~3年生较大规格容器苗的培育技术,尤其在苗木培育阶段采取强化调控措施,以满足立地条件对苗木质量的要求^[4-5],其中养分加载被视为较大规格珍贵树种容器苗定向培育的关键技术。

养分加载是指施肥量超过苗木生长需求,并将多余养分贮存于体内以形成养分库,造林后苗木利用这一养分库实现养分的内转移和再分配^[6],促进根系生长和顶芽发育^[7],尤其在瘠薄、杂草竞争等困难造林地,苗木向其生长点转移更多养分。养分加载效果受养分配比及加载量影响显著,N和P是影响植物生长发育的限制性元素,这两种元素在功能上相互偶联^[8],既具协同作用又相互影响^[9]。一方面,植物体内的养分元素受到内稳态机制影响而保

持动态平衡^[10],而另一方面则又受到周围环境中养分含量及平衡状况的影响^[11]。很多研究表明,N、P配比和加载量均对容器苗生长有较大影响。如王清华^[12]和邝雷^[13]等认为N、P平衡施用可提升白蜡(*Fraxinus chinensis* Roxb.)和任豆(*Zenia insignis* Chun)苗木质量,两者最优的N/P比分别为1.788和7.0。N/P比和加载量可改善N、P分别或共同受限的状况^[9]、提高各养分的利用率^[14]、提高苗木的抗逆能力^[15]及影响植株的养分积累^[16]。适宜的养分加载可以提高植株的叶绿素水平,促进苗木养分库构建,适量的高N能够增加苗木干物质质量,但超过一定限度后,干物质质量反而会下降^[17]。

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* Nakai)均是南方优先发展的珍贵树种。已有研究表明,缓释肥加载量对南方红豆杉和浙江樟容器苗株高、地径影响显著,浙江楠则受影响较小,前两者生长的缓释肥加载效应明显,而

浙江楠干物质积累对加载量的响应不敏感^[18]。以上研究仅针对养分加载量对容器苗生长的影响,设置的缓释肥加载水平也存在一定局限性,未考虑 N、P 养分配比及相应加载量的影响。为此,本研究将进一步探讨缓释肥 N/P 养分配比及加载量对南方红豆杉、浙江楠和浙江樟 3 种珍贵树种 2 年生容器苗生长、叶绿素含量 (SPAD 值) 及动态变化的影响,以确定线性生长期,明确较优养分配比和缓释肥加载量,为线性生长期的水肥管理和低成本高质量的容器苗培育提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于浙江省庆元县实验林场的省级保障性苗圃,海拔高度 510 m, 27°38'48" N, 119°01'25" E, 属于亚热带季风气候, 年均气温 17.6℃, 年降水量 1721.3 mm, 无霜期 245 d。苗圃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 50% 透光率的遮阳网。

1.2 试验材料

选用苗高和地径等基本一致的 1 年生南方红豆杉、浙江楠和浙江樟容器苗作为培育 2 年生大规格容器苗的试验用苗, 其种子来源和培育措施见文献 [18]。苗木移栽时 (2014 年 4 月下旬) 其平均苗高分别为 42.9、31.0 和 34.0 cm, 平均地径分别为 4.34、4.58 和 4.73 mm。育苗基质配方为: 40% 泥炭 + 30% 谷壳 + 30% 黄泥 (按体积比), 由于上述基质中养分含量低, 对缓释肥加载处理影响很小^[19], 在本研究中忽略其影响。试验肥料为委托山东金正大集团特制的不同 N/P 养分配比的缓释肥 (肥效 6 个月), 育苗容器则选用 18 cm × 20 cm 的美植袋。

1.3 试验设计

本研究在前期对南方红豆杉 (S1)、浙江楠 (S2) 和浙江樟 (S3) 2 年生容器苗缓释肥加载量研究的基础上^[18], 设置 N/P 养分配比 (A) 和加载量 (F) 两个因子及各 4 个水平共 16 个处理的析因试验设计。N/P 养分配比和加载量的 4 个处理水平分别为 A1 (1.75:1)、A2 (2.25:1)、A3 (2.75:1)、A4 (3.25:1) 和 F1 (1.5 kg · m⁻³)、F2 (2.5 kg · m⁻³)、F3 (3.5 kg · m⁻³)、F4 (4.5 kg · m⁻³)。不同养分配比的缓释肥所对应的 N、P 养分含量分别如下: A1 (170 g · kg⁻¹ 和 90 g · kg⁻¹)、A2 (160 g · kg⁻¹ 和 70 g · kg⁻¹)、A3

(170 g · kg⁻¹ 和 60 g · kg⁻¹) 和 A4 (190 g · kg⁻¹ 和 60 g · kg⁻¹)。试验前将不同养分配比和加载量的缓释肥与基质充分混匀。试验设置 3 次重复, 每个小区 30 株。

1.4 指标测定与数据分析

2014 年 4 月下旬将 1 年生容器苗去袋移栽至大规格容器中后, 每月下旬测定株高 1 次, 12 月 2 日进行最后 1 次株高和地径测量。同时, 每重复小区选用 10 株代表性植株, 3 次重复, 共 30 株, 用 SPAD-502 便携式叶绿素含量测定仪 (日本产) 于 7 月下旬开始测定当年新成熟叶片的 SPAD 值, 测量时每样株选取 3 张叶片, 分析数据为 3 次读数平均值。苗木生长期结束后, 各小区选取 4 株代表性苗木进行收获, 将根、茎、叶分成 3 部分, 置于 105℃ 烘箱中杀青 30 min, 再在 68℃ 下烘至恒质量^[20], 测定各器官干质量并计算其总生物量和根冠比等指标。最后计算苗木质量指数 (quality index, *QI*), 其计算公式为 $QI = \text{苗木总干物质量} / [\text{苗高 (cm)} / \text{地径 (mm)} + \text{茎干质量 (g)} / \text{根干质量 (g)}]$ ^[21]。

用 Logistic 方程对不同试验处理株高生长节律进行拟合, 其表达式为 $y = \frac{k}{1 + ae^{-bt}}$, 其中 *y* 为株高生长量, *t* 为时间, *a*、*b* 为待定系数, *k* 为既定条件下株高生长可能达到的极限值, 可用倒数求和法计算。参照朱仁海^[22]的方法计算各树种株高日生长量变化最大的生长拐点 (*t*₁ 和 *t*₂), 线性生长持续时间 (LGD) 和线性生长量 (TLG) 等生长参数的计算参照杨志玲等的方法^[23]。

采用 Excel 2007 和 Origin9.0 软件进行数据的处理及相关图形制作, 利用 SPSS 20.0 程序进行方差分析、Duncan's 检验 ($\alpha = 0.05$) 及 Logistic 拟合回归分析。

2 结果与分析

2.1 缓释肥 N/P 养分配比及加载量对 2 年生容器苗生长及株高生长节律的影响

2.1.1 苗高和地径生长 3 种珍贵树种 2 年生容器苗对缓释肥 N/P 养分配比的生长反应存在显著差异 (表 1), 其中浙江楠、南方红豆杉容器苗对 N/P 养分配比敏感性较大, 而浙江樟容器苗受 N/P 养分配比影响较小。随着 N/P 养分配比从 A1 (1.75:1) 提高到 A4 (3.25:1), 浙江楠容器苗的株高和地径明显增加, N/P 养分配比分别为 2.75:1 和 3.25:1 时其

株高和地径达到最大(97.28 cm, 12.36 mm), 较其它水平分别提高了5.4%~9.7%、4.2%~10.3%。对比分析表明, 南方红豆杉的地径随N/P养分配比增加显著降低, 在A1水平最大, 较之其它水平高出9.5%~17.5%, 而其株高变化不大。对于浙江樟, N/P养分配比对株高和地径的影响均不显著, 但株高和地径均在A3(2.75:1)水平达到最大。这说明N/P养分配比对浙江樟的生长影响不大, 显著促进了浙江楠的生长, 而抑制了南方红豆杉的生长。

缓释肥加载量对3个树种苗木生长整体表现为促进作用, 但在不同树种间有所差异。方差分析表明: 不同缓释肥加载量对3个树种2年生容器苗的生长基本达到极显著水平(表1)。在F3水平下, 南方红豆杉的苗高和地径生长量分别为79.21 cm和9.56 mm, 均极显著高于其它处理, 较生长量最小值

(F1水平)分别高出16.06%和13.81%。浙江樟容器苗生长变化趋势与浙江楠相似, 表现为随缓释肥加载量增加而明显增大, 在F3水平时其生长量达到最大, 苗高和地径分别为104.08 cm和13.70 mm, 但当加载量增至F4水平时, 其生长量大幅下降, 降幅分别高达11.03%和8.32%。浙江楠的株高对缓释肥加载效应明显, 而地径生长量受影响较小, 未达到统计学显著水平, 但也显示在F3水平下达到最大值, 与其它处理水平相比, 分别提高了5.49%~18.39%和0.60%~6.13%。可见3个树种株高和地径随加载量的增加而增大, 但随着加载量的进一步增加, 其株高和地径又呈下降趋势, 说明对于3个树种2年生容器苗的生长其缓释肥加载量皆存在一个较佳水平, 过高或过低均抑制苗木生长。

表1 缓释肥N/P养分配比及加载量对3种珍贵树种容器苗生长的影响

Table 1 The effect of slow-release fertilizer (SLF) N:P ratio and loading on the growth of 3 species

项目 Item	处理 Treats	南方红豆杉 <i>T. wallichiana</i> var. <i>mairiei</i>		浙江楠 <i>Ph. chekiangensis</i>		浙江樟 <i>C. chekiangense</i>	
		株高 Height/cm	地径 Ground diameter/mm	株高 Height/cm	地径 Ground diameter/mm	株高 Height/cm	地径 Ground diameter/mm
N/P 养分配比 N:P ratio(A)	A1(1.75:1)	82.67 ± 7.62a	10.29 ± 0.79a	88.68 ± 3.86B	11.68 ± 0.71ab	105.88 ± 7.55a	13.86 ± 1.55a
	A2(2.25:1)	78.95 ± 7.57a	9.40 ± 1.37ab	92.28 ± 6.68B	11.21 ± 1.17b	104.67 ± 7.34a	13.30 ± 1.28a
	A3(2.75:1)	78.63 ± 9.66a	8.83 ± 1.55b	97.28 ± 6.43A	11.86 ± 0.78ab	107.47 ± 10.19a	13.34 ± 1.15a
	A4(3.25:1)	76.58 ± 5.21a	8.76 ± 0.75ab	90.26 ± 4.54B	12.36 ± 1.22a	98.29 ± 10.74a	13.29 ± 1.82a
	P 值 P value	0.336	0.047	0.003	0.042	0.850	0.258
缓释肥加载量 Loading force(B) /(kg · m ⁻³)	F1(1.5)	68.25 ± 2.79C	8.40 ± 0.39B	77.81 ± 3.40C	11.10 ± 0.61a	87.81 ± 4.66C	12.13 ± 0.97B
	F2(2.5)	74.66 ± 5.52C	8.81 ± 0.53B	82.06 ± 8.18C	11.71 ± 0.77a	89.84 ± 4.57BC	12.39 ± 0.94B
	F3(3.5)	79.21 ± 3.99A	9.56 ± 0.78A	92.12 ± 4.80A	11.78 ± 0.74a	104.08 ± 5.52A	13.70 ± 0.56A
	F4(4.5)	73.07 ± 5.86B	8.84 ± 0.48B	87.33 ± 4.21B	11.61 ± 0.61a	92.60 ± 5.01B	12.56 ± 0.76B
	P 值 P value	<0.001 **	<0.001 **	<0.001 **	0.078	<0.001 **	<0.001 **

注: 表中同列中相同字母表示差异不显著, 不同字母表示差异显著($P < 0.05$); **表示差异极显著($P < 0.01$)。下同。

Note: In same column, same letters indicate no significant difference, and different letters indicates significant difference ($P < 0.05$); ** indicates significant level at $P < 0.01$. The same below.

2.1.2 株高生长节律 利用 Logistic 方程分别树种和处理对3种珍贵树种2年生容器苗株高生长节律进行拟合, 其拟合方程的 R^2 值在0.978~0.998间, 均达到了极显著水平($P < 0.01$), 拟合度高。从表2可知, 南方红豆杉和浙江樟株高的线性生长期由6月下旬持续到9月下旬, 而浙江楠株高线性生长期则推迟半个月, 由7月中旬持续到9月下旬, 可见3个树种株高的线性生长持续时间(LGD)存在一定差异, 但速生期均可持续2个半月左右。研究发现, 随着N/P养分配比的增加, 南方红豆杉苗木株高的线性生长始期提前, 线性生长期延长, 但线性生长量(TLG)却在A2(1.75:1)时最大。相对于南

方红豆杉, 缓释肥N/P养分配比对浙江楠和浙江樟株高生长节律参数的影响却较小。比较分析表明, 缓释肥加载量对浙江楠苗木株高的线性生长始期和线性生长量有较大影响, 株高线性生长量在F1时达到最大值, 此加载量下线性生长持续时间也最长。缓释肥加载量对浙江樟株高的线性生长始期和终期影响不大, 但线性生长量和线性生长持续时间却表现出在F3(3.5 kg · m⁻³)时最大或最长。南方红豆杉苗木株高生长节律的各参数变化规律不一, 虽然持续生长在F4(4.5 kg · m⁻³)时最长, 但却在F1时线性生长量最大(1.5 kg · m⁻³)。

表 2 不同缓释肥加载处理下 3 种珍贵树种容器苗株高生长节律参数

Table 2 Parameters of height growth rhythm of seedlings of 3 species under different treatment of SLF

项目 Item	处理 Treats	南方红豆杉 <i>T. wallichiana</i> var. <i>mairei</i>				浙江楠 <i>Ph. chekiangensis</i>				浙江樟 <i>C. chekiangense</i>			
		t1	t2	TLG	LGD	t1	t2	TLG	LGD	t1	t2	TLG	LGD
N/P 养分配比 N:P ratio(A)	A1	37.01	119.1	19.53	82.05	46.37	112.4	30.03	66.01	29.85	117.3	36.14	87.5
	A2	34.6	120.1	20.81	85.51	47.49	118.3	33.48	70.8	27.24	119	37.16	91.77
	A3	26.36	115.3	18.45	88.98	46.08	117.6	32.97	71.57	29.33	115.9	37.02	86.64
	A4	28.73	123.1	18.97	94.4	46.79	117.0	33.56	70.23	28.13	121.2	35.94	93.06
	均值 Mean	31.68	119.4	19.44	87.74	46.68	116.3	32.51	69.65	28.64	118.4	36.57	89.74
缓释肥加载量 Loading force(F) /(kg·m ⁻³)	F1	33.93	121.7	21.11	87.79	38.71	113.9	34.5	75.25	27.2	117.1	33.16	89.89
	F2	31.08	118.6	20.19	87.5	49.82	115.3	31.6	65.52	28.31	117.3	36.02	88.98
	F3	34.6	116.9	17.11	82.3	50.48	117.7	32.92	67.19	29.28	119.5	39.44	90.2
	F4	27.84	120.6	19.4	92.74	48.65	118.1	30.92	69.49	29.64	119.5	37.27	89.89
	均值 Mean	31.76	119.4	19.45	87.67	46.79	116.3	32.5	69.52	28.62	118.4	36.52	89.74

注:t1、t2 和 LGD 单位为 d,TLG 单位为 cm。

Note: The units of t1,t2 and LGD are days,while it is centimeter of TLG.

2.2 缓释肥 N/P 养分配比及加载量对 2 年生容器苗干物质积累及分配的影响

缓释肥 N/P 养分配比对 3 种珍贵树种 2 年生容器苗整株干物质积累的影响均不显著,而缓释肥加载量的效应却显著(表 3)。N/P 养分配比在 A3 (2.25:1) 水平时,3 个树种干物质积累皆达到最大值。随着 N/P 养分配比增加,南方红豆杉和浙江樟的根冠比呈“升-降-升”的变化趋势,且均显示在 A3 水平最小,而浙江楠的根冠比则在 A2 水平时最小,随着 N/P 养分配比进一步增大,其根冠比也持续增加,但均未达到显著水平($P > 0.05$)。可见 N/P 养分配比对 3 种珍贵树种容器苗干物质积累及其分配的影响不明显,说明 3 个树种干物质积累及其分配对试验设置范围内 N、P 养分配比具有稳定性。

较之 N/P 养分配比,缓释肥加载显著影响 3 个树种整株干物质积累,对根冠比而言,南方红豆杉和浙江楠对缓释肥加载较敏感,浙江樟则受影响较小(表 3)。在 F3 加载水平下,各树种干物质积累达到最大值,且不同缓释肥加载水平差异显著,南方红豆杉、浙江楠和浙江樟干物质积累在 F3 加载水平下较其它处理分别高出 24.5%、10.7% 和 27.4%。南方红豆杉根冠比随缓释肥水平提高先升高再降低,在 F3 加载水平时最大,浙江楠则在 F1 加载水平达到最大,说明随着缓释肥加载量提高,南方红豆杉根冠比逐渐增大,而浙江楠则反之,浙江樟根冠比在 4 个加载水平未表现出显著差异。因此,缓释肥加载在一定程度上促进了 3 个树种干物质积累,促进了南

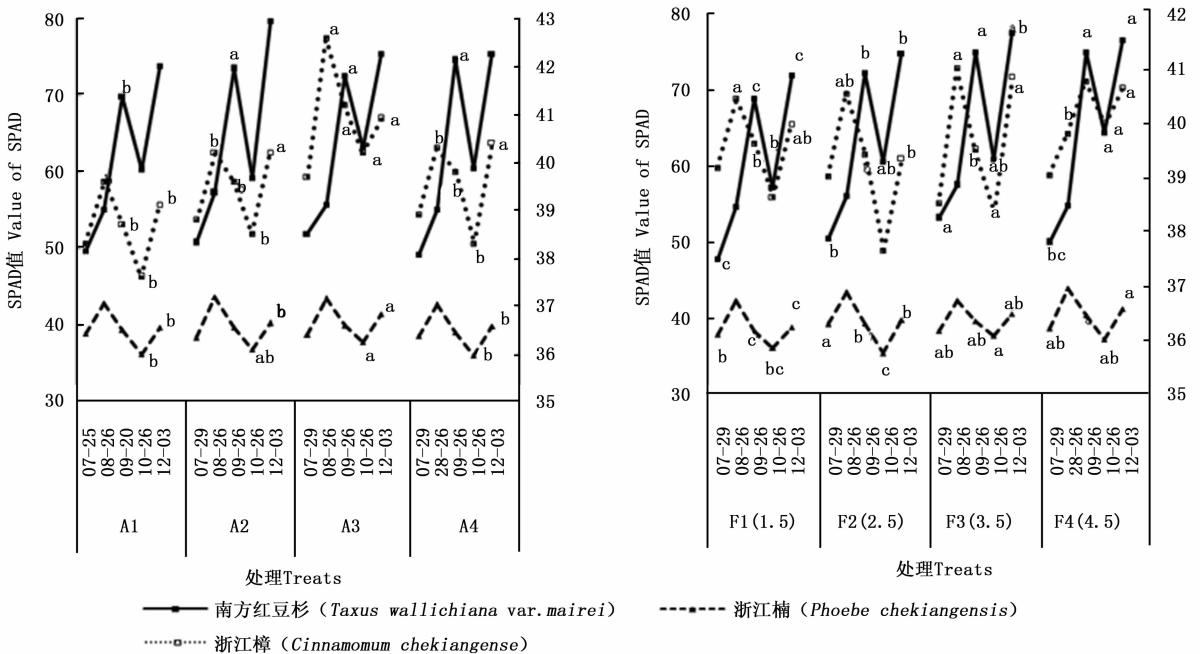
方红豆杉地下部分生长和浙江楠地上部分生长,但过量施肥反而降低 3 个树种植株干物质积累,影响干物质在各器官的分配,进而可能导致苗木质量下降。

2.3 缓释肥 N/P 养分配比及加载量对 2 年生容器苗 SPAD 值及其动态变化的影响

不同树种 2 年生容器苗叶片的 SPAD 值差异很大(表 3),南方红豆杉容器苗叶片的 SPAD 值显著高于浙江楠和浙江樟(图 1),3 个树种不同月份 SPAD 值在各处理内皆呈“升高-降低-升高”交替变化。结果表明(图 1),在生长季内出现两个 SPAD 值高峰,分别在线性生长中期或末期和生长季末。缓释肥 N/P 养分配比及加载量皆对南方红豆杉、浙江楠和浙江樟 2 年生容器苗叶片 SPAD 值及其年季动态变化有一定影响。南方红豆杉苗木叶片 SPAD 年均值及线性生长末期 SPAD 峰值受 N/P 养分配比影响较大,均显示在 A2 水平达到最大值。而养分配比在 A3 水平时,浙江樟 SPAD 年均值及各月的 SPAD 值最大,显著高于其它水平。浙江楠的 SPAD 年均值在 N/P 养分配比间差异不显著,但其生长季末(10 月 26 日和 12 月 3 日)SPAD 对 N/P 养分配比却很敏感,且均显示在 A3 水平其值最高。方差分析及多重比较结果显示(表 3):缓释肥加载在一定程度上提高了 3 个树种 SPAD 年均值,各树种 SPAD 值动态变化受缓释肥加载效应显著,均随着加载量增加而增大,表明适当 N/P 养分配比和加载量可使植物体内叶绿素含量升高,促进光合作用,利于后期植物体内养分贮存。

表3 缓释肥 N/P 养分配比及加载量对3种珍贵树种容器苗干物质积累及 SPAD 值的影响
Table 3 The effect of slow-release fertilizer (SLF) N:P ratio and loading on the dry matter accumulation and value of SPAD of 3 species

项目 Item	处理 Treats	南方红豆杉 <i>T. wallichiana</i> var. <i>mairei</i>			浙江楠 <i>Ph. chekiangensis</i>			浙江樟 <i>C. chekiangense</i>		
		整株干物质积累 Dry matter accumulation/g	根冠比 Root-shoot ratio	SPAD 值 Value of SPAD	整株干物质积累 Dry matter accumulation/g	根冠比 Root-shoot ratio	SPAD 值 Value of SPAD	整株干物质积累 Dry matter accumulation/g	根冠比 Root-shoot ratio	SPAD 值 Value of SPAD
N/P 养分配比 N:P ratio	A1	36.51 ± 6.50a	0.42 ± 0.01a	61.72 ± 10.02b	60.25 ± 9.22a	0.41 ± 0.04a	39.36 ± 0.76a	55.17 ± 11.52a	0.41 ± 0.05a	38.66 ± 2.35B
	A2	36.68 ± 8.26a	0.45 ± 0.05a	64.02 ± 12.02a	60.66 ± 9.63a	0.40 ± 0.07a	39.72 ± 0.79a	56.65 ± 12.73a	0.44 ± 0.07a	39.46 ± 2.54B
	A3	36.73 ± 5.18a	0.42 ± 0.05a	63.74 ± 10.22a	63.57 ± 9.04a	0.42 ± 0.07a	40.24 ± 1.11a	58.56 ± 15.30a	0.36 ± 0.04a	40.92 ± 2.22A
	A4	33.30 ± 4.81a	0.49 ± 0.05a	62.94 ± 11.67ab	57.83 ± 10.24a	0.44 ± 0.07a	39.20 ± 0.91a	55.84 ± 7.98a	0.45 ± 0.06a	39.54 ± 2.37B
缓释肥加载量 Loading force (kg · m ⁻³)	F1	29.56 ± 3.08C	0.43 ± 0.08b	60.06 ± 10.01b	46.26 ± 4.57C	0.48 ± 0.07A	39.74 ± 1.05a	46.45 ± 5.72C	0.40 ± 0.08a	38.78 ± 2.25a
	F2	35.33 ± 4.28B	0.43 ± 0.06b	62.80 ± 10.30a	60.87 ± 7.24B	0.41 ± 0.05B	39.18 ± 1.00a	55.14 ± 7.69B	0.42 ± 0.06a	40.28 ± 1.99a
	F3	43.99 ± 6.16A	0.50 ± 0.11a	64.64 ± 10.65a	68.28 ± 7.53A	0.40 ± 0.03B	39.64 ± 1.23a	70.27 ± 10.67A	0.43 ± 0.04a	39.80 ± 1.90a
	F4	34.17 ± 4.09B	0.43 ± 0.09b	64.10 ± 11.79a	61.68 ± 6.28B	0.37 ± 0.05C	40.04 ± 0.71a	52.37 ± 7.17BC	0.42 ± 0.07a	40.38 ± 2.59a



注:南方红豆杉和浙江楠隶属于主坐标轴,浙江樟则属次坐标轴。小写字母表示同一树种相同月份不同处理间差异显著,大写字母表示不同树种间的差异显著

Note: *T. wallichiana* var. *mairei* and *Ph. chekiangensis* belong to principal axis, while *C. chekiangense* belong to a secondary axis. Lowercase letters indicate significant between different treats in same species and same month, and capital letter show significant between different species

图1 缓释肥 N/P 养分配比和加载量对3种珍贵树种容器苗 SPAD 值月动态变化的影响
Fig. 1 The effect of N:P ratio and loading force on the dynamic change of value of SPAD of 3 species

2.4 缓释肥 N/P 养分配比和加载量两因素互作对 3 种珍贵树种苗木质量指标的影响

两因素方差分析结果显示(表 4),缓释肥 N/P 养分配比仅对南方红豆杉和浙江樟 2 年生容器苗叶片 SPAD 值,浙江楠和浙江樟 2 年生容器苗株高影响显著或极显著,缓释肥加载水平则对南方红豆杉

和浙江樟 2 年生容器苗生长、QI 及 SPAD 值影响极为显著,而两因素交互作用对 3 种珍贵树种苗木生长及 QI 影响皆未达到统计学显著水平,仅对浙江楠和浙江樟 2 年生容器苗叶片 SPAD 值影响显著,说明 N/P 养分配比对 3 个树种容器苗生长和质量的影响不因加载量的改变而变化,反之亦然。

表 4 两因素交互作用对 3 种珍贵树种容器苗生长影响的方差分析(F 值)

Table 4 Variance analysis for effect of two-factor interaction on growth of container seedlings of 3 species (F value)

树种 Species	变异来源 Source of variation	株高 Height	地径 Ground diameter	生物量 Biomass	根冠比 Ratio of root to shoot	QI	SPAD 值 Value of SPAD
南方红豆杉 <i>T. wallichiana</i>	A	2.29	2.47	2.38	1.95	0.44	6.17*
	F	16.65**	10.66**	26.54**	2.10	11.82**	17.74**
var. <i>mairei</i>	A × F	0.53	1.59	0.94	0.60	0.75	1.63
浙江楠 <i>Ph. chekiangensis</i>	A	2.88*	0.45	0.49	1.85	0.26	2.40
	F	15.50**	2.50	7.78**	14.82**	1.76	4.87
	A × F	0.55	1.31	1.19	1.75	1.02	6.87**
浙江樟 <i>C. chekiangense</i>	A	3.75*	0.25	0.12	3.58	0.27	34.18**
	F	31.99**	8.48**	17.36**	0.37	11.43**	14.50**
	A × F	1.62	1.26	0.90	0.72	0.79	3.59*

3 讨论

南方红豆杉和浙江楠 2 年生容器苗生长受缓释肥 N/P 养分配比影响较明显,但浙江樟生长影响较小,表明在一定 N/P 养分配比范围内,浙江樟 2 年生容器苗的生长具有较好的稳定性,对基质中的养分平衡具有较强的适应性,而南方红豆杉和浙江楠却较为敏感。南方红豆杉的生长表现为在较低 N/P 养分配比水平时(1.75:1)最优;浙江樟在 A1(1.75:1)配比水平时地径生长量最大,而株高却在 A3(2.75:1)时最大,与邝雷得出的高 N 加载促进苗木高生长,抑制径生长,而相对高 P 促进径生长的结论相吻合^[13];浙江楠苗木高生长量则在较高 N/P 养分配比水平,可能与相对低磷下蒸腾速率较低有关^[15],该结果与楚秀丽得出的浙江楠生长所需的 P 素水平较低一致^[24]。在试验设定水平内,随着缓释肥加载量的提高,3 个树种各生长指标均上升,皆在 F3 水平达到最大值,类似于肖遥等研究的缓释肥加载显著提高了南方红豆杉、浙江楠和浙江樟 2 年生容器苗生长的结论^[19]。随着缓释肥加载量增加,南方红豆杉地下干物质积累和浙江楠地上干物质积累增加,这可能与养分加载对苗木体内不同部位 N、P 含量及分配比例有关^[19],南方红豆杉和浙江楠叶 N 含量随施肥水平增加而增加,南方红豆杉叶 P 含量变化不大,而浙江楠 P 含量却显著下降,从而导致浙江楠 N/P 养分配比升高程度大于南方红豆杉,使得

浙江楠植株处于 N 奢侈状态,诱使地上干物质积累增加;南方红豆杉地下干物质积累增加与体内相对高的 P 素促进根系生长、参与干物质合成等有关^[23]。

在一定范围内,缓释肥 N/P 养分配比及加载量皆对南方红豆杉、浙江楠和浙江樟 2 年生容器苗叶片 SPAD 值及其年季动态变化有一定影响,均在 A3(2.75:1)和 F3(3.5 kg · m⁻³)水平下达到较大值,与李鹏程等^[25]的研究结果一致,即适量高 N 能够使叶片维持较高的 SPAD 值。南方红豆杉的 SPAD 值显著高于另外两树种,这可能是施肥影响了 N 在不同器官中的累积量有关。肖遥等^[19]研究结果表明,缓释肥加载使得南方红豆杉叶片的 N 含量远高于根,而浙江樟和浙江楠则反之,而叶片中的 N 含量与 SPAD 值呈显著正相关^[26],从而使得南方红豆杉叶片 SPAD 值高于其它两树种。在不同 N/P 养分配比及加载量下,3 个树种不同月份叶片 SPAD 值动态变化皆呈“低-高-低-高”交替规律,但随着 N/P 养分配比提高使南方红豆杉和浙江樟叶片 SPAD 值的起伏强度增大,这可能更利于对 C、N 供给的调节和物质分配中心的转化^[27],同时说明了 N、P 及其比例对其 SPAD 值具有一定调节作用,但改变不了内在的变化节奏。由此可见,因树种自身生物学特性的不同,叶片 SPAD 值受 N/P 养分配比及加载量的影响程度也不同,从而可能导致其干物质质量积累的差异。

尽管试验树种和缓释肥加载处理不同,但其 2

年生容器苗的株高皆呈明显的“慢-快-慢”年生长期节律。N/P 养分配比提高可延长南方红豆杉株高的线性生长期,而缓释肥加载量则对浙江楠株高的线性生长量影响最大,浙江樟受 N/P 养分配比和加载量影响均较小,各参数分别在 A2 和 F3 水平下达到最优。线性生长期是 3 个树种容器苗生长的关键时期,应通过施加不同 N、P 比例的缓释肥以解决容器苗生长所需的水、肥和光等供需矛盾,促进苗木较早进入线性生长期,以提高线性生长量。

4 结论

研究表明,缓释肥 N/P 养分配比为 A1(1.75:1)或 A2(2.25:1),即可满足南方红豆杉 2 年生容器苗对 N、P 素的需求;而浙江楠和浙江樟较佳养分配比为 A3(2.75:1)。缓释肥加载量为 F3(3.5 kg·m⁻³)水平时,3 种树种大规格容器苗的生长和 SPAD 值均明显提高。根据不同养分配比缓释肥中 N 素的含量及容器规格,换算出每株南方红豆杉容器苗所需的 N、P 素含量分别为 3.03 g 和 1.60 g 或 2.85 g 和 1.25 g,而浙江樟和浙江楠容器苗每株则均需加载 N 素 3.03 g 和 P 素 1.07 g。

参考文献:

- [1] Oliet J A, Puértolas J, Planelles R, *et al.* Nutrient loading of forest tree seedlings to promote stress resistance and field performance: a Mediterranean perspective[J]. *New Forests*, 2013, 44(4):649-669.
- [2] 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.
- [3] 楚秀丽,张守攻,孙晓梅,等. 日本落叶松容器苗不同控释肥营养元素效应分析[J]. *北京林业大学学报*, 2012, 34(6):47-54
- [4] 李国雷,刘勇,祝燕,等. 国外容器苗质量调控技术研究进展[J]. *林业科学*, 2012, 48(8):135-142.
- [5] Schott K M, Pinno B D, Landhäusser S M. Premature shoot growth termination allows nutrient loading of seedlings with an indeterminate growth strategy[J]. *New Forests*, 2013, 44(5):635-647.
- [6] Trubat R, Cortina J, Vilagrosa A. Nursery fertilization affects seedling traits but not field performance in *Quercus suber* L. [J]. *Journal of Arid Environments*, 2010, 74(4):491-497.
- [7] Oliet J A, Planelles R, Artero F. Field performance of *Pinus halepensis* planted in Mediterranean arid conditions: relative influence of seedling morphology and mineral nutrition [J]. *New Forests*, 2009, 37(3):313-331
- [8] Ågren G I, Wetterstedt J Å M, Billberger M F K. Nutrient limitation on terrestrial plant growth-modeling the interaction between nitrogen and phosphorus[J]. *New Phytologist*, 2012, 194(4):953-960.
- [9] Sardans J, Rivas-Ubach A, Peñuelas J. The elemental stoichiometry

- of aquatic and terrestrial ecosystems and its relationships with organismic lifestyle and ecosystem structure and function: A review and perspectives[J]. *Biogeochemistry*, 2012, 111(1-3):1-39.
- [10] Zhang L X, Bai Y F, Han X G. Application of N; P stoichiometry to ecology studies[J]. *Acta Botanica Sinica*, 2003, 45(9):1009-1018.
 - [11] Sterner R W, Elser J J. *Ecological stoichiometry: the biology of elements from molecules to the biosphere*[M]. Princeton: Princeton University Press, 2002.
 - [12] 王清华,王文中,马丙尧,等. 不同氮磷比对白蜡生长和土壤性状的影响[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(16):1-6.
 - [13] 邝雷,邓小梅,余斐,等. 氮、磷、钾配比施肥对红豆杉容器苗生长的影响[J]. *华南农业大学学报*, 2014(6):79-82.
 - [14] 林诚,王飞,李清华,等. 肽酸型有机复混肥对水稻产量、品质及养分利用率的影响[J]. *土壤通报*, 2011, 42(6):1428-1433.
 - [15] 王富林,周乐,李洪娜,等. 不同氮磷比对富士苹果幼树生长及 15N-尿素吸收、分配与利用的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(5):1102-1108.
 - [16] 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.
 - [17] 赵燕,董雯怡,张志毅,等. 施肥对毛白杨杂种无性系幼苗生长和光合的影响[J]. *林业科学*, 2010, 46(4):70-77.
 - [18] 楼君. 浙江楠等 5 种珍贵树种容器苗养分有效加载研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2015.
 - [19] 肖遥,楚秀丽,王秀花,等. 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[J]. *林业科学研究*, 2015, 28(6):781-787.
 - [20] Dianel H. Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation. [J]. *Tree Planters Notes*, 2008, 52(2):24-30.
 - [21] 张华林,谢耀强,彭彦. 不同浓度指数施肥方法下尾巨桉幼苗需肥规律[J]. *热带作物学报*, 2013, 34(7):1218-1222.
 - [22] 朱仁海,杨琪瑜,沈文瑛. *统计分析方法*[M]. 北京:中国林业出版社, 1990.
 - [23] 杨志玲,杨旭,谭梓峰,等. 厚朴不同种源苗期生长模型的拟合[J]. *西北农林科技大学学报:自然科学版*, 2011, 39(4):60-68.
 - [24] 楚秀丽,王秀花,张东北,等. 基质配比和缓释肥添加量对浙江楠大规格容器苗质量的影响[J]. *南京林业大学学报:自然科学版*, 2015(6):67-73
 - [25] 李鹏程,董合林,刘爱忠,等. 棉花上部叶片叶绿素 SPAD 值动态变化研究[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(3):121-126.
 - [26] Chang S X, Robison D J. Nondestructive and rapid estimation of hardwood foliar nitrogen status using the SPAD-502 chlorophyll meter [J]. *Forest Ecology & Management*, 2003, 181(3):331-338.
 - [27] 何俊俊,杨京平,杨虎,等. 光照及氮素水平对水稻冠层叶片 SPAD 值动态变化的影响[J]. *浙江大学学报:农业与生命科学版*, 2014, 40(5):495-504.

(责任编辑:金立新)