

缓释肥施用量对紫楠容器苗生长的影响

李 鑫^{1,2}, 李晓菁¹, 史锋厚^{1*}, 沈永宝¹

(1. 南京林业大学 林学院/南方现代林业协同创新中心, 江苏 南京 210037; 2. 扬州苏瑞园林绿化工程有限公司, 江苏 扬州 225000)

摘 要:以紫楠芽苗为试验材料,研究不同缓释肥施用量对紫楠容器苗生长指标和生理指标以及根系形态指标的影响,以筛选最佳缓释肥施用量,为紫楠容器育苗过程中精准施肥提供技术支持。试验采用单因素随机区组设计,设置4个不同的缓释肥施用量处理: F_1 2.0 kg·m⁻³、 F_2 2.5 kg·m⁻³、 F_3 3.0 kg·m⁻³、 F_4 3.5 kg·m⁻³,测定不同缓释肥施用量水平下的紫楠苗木生长指标、根系指标和生理指标。结果表明,不同缓释肥施用量对紫楠容器苗的形态生长指标、根系指标和生理指标存在显著影响。紫楠苗木各项测定指标基本随育苗基质中缓释肥施用量的增加而呈现先增高后降低的变化趋势。缓释肥施用量为 F_3 水平时,紫楠容器苗的长势最佳,苗高13.63 cm、地径5.03 mm,苗木单株干质量3.92 g·株⁻¹、侧根干质量1.16 g·株⁻¹,苗木根系总长204.28 cm、根系表面积157.51 cm²、根系体积12.46 cm³、总根尖数597个、一级侧根15.53条;同时,苗木叶片中叶绿素和营养物质含量均达到最大值。当缓释肥施用量增至 F_4 水平时,苗木各项生长指标和生理指标均出现下降的趋势,说明育苗基质中的养分浓度过高,对苗木生长和根系发育产生抑制作用,影响根系吸收营养物质。综合评价,可选用3.0 kg·m⁻³缓释肥作为1年生紫楠容器苗培育过程中的推荐施肥量。

关键词:紫楠;缓释肥;容器苗;生长指标;根系形态;生理指标

中图分类号:S725.5

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2022)04-0152-06

Effects of Slow-Release Fertilizer Amount on the Growth of Container Seedlings of *Phoebe sheareri*

LI Xin^{1,2}, LI Xiao-jing¹, SHI Feng-hou^{1*}, SHEN Yong-bao¹

(1. College of Forestry Nanjing Forestry University/Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 2. Yangzhou Surui Landscaping Engineering Co., Ltd., Yangzhou 225000, Jiangsu, China)

Abstract: Container seedlings of *Phoebe sheareri* were used as materials to study the effects of different amounts of slow-release fertilizer (SRF) on the indices of growth, physiology, and morphology of the seedlings to select the optimal amount for the application of SRF to provide technical support for precision fertilization of the seedlings. By conducting single-factor randomized block design, the amounts of SRF were set with four levels: F_1 : 2.0, F_2 : 2.5, F_3 : 3.0, and F_4 : 3.5 kg·m⁻³, respectively. The results showed that the different levels of SRF had significant effects on the morphological and physiological indices of *P. sheareri* container seedlings. And all the indices showed a trend of increasing first and then decreasing with the increase of SRF amount. The container seedlings grew best under F_3 treatment with the seedling height of 13.63 cm, the diameter 5.03 mm, the dry weight of the whole plant 3.92 g·plant⁻¹, the dry

收稿日期: 2021-06-19 修回日期: 2022-04-17

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(19)3123); 江苏省林业科技创新与推广项目(LYKJ[2021]03); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)。

第一作者: 李 鑫。研究方向: 林木种苗学。E-mail: 760007301@qq.com

* 通信作者: 史锋厚, 博士, 高级实验师, 硕士生导师。E-mail: 280918109@qq.com

weight of lateral roots $1.16 \text{ g} \cdot \text{plant}^{-1}$ the total length of roots 204.28 cm , the root surface area 157.51 cm^2 , the root volume 12.46 cm^3 , the number of total root tips 597, and the number of first-order lateral roots 15.53. And the contents of chlorophyll and nutrient reached the maximum. Under F_4 treatment in which the SRF amount increased compared with F_3 treatment, all the morphological and physiological indexes showed downward trends, indicating that the nutrient concentration was too high, which would affect the root absorption and inhibit the growth of seedlings. Therefore, F_3 treatment with the application of SRF $3.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ was recommended for the cultivation of one-year-old *P. shearereri* container seedlings.

Key words: *Phoebe shearereri*; slow-release fertilizer; container seedling; growth index; root morphology; physiological index

随着现代林业的发展,精准施肥已成为一种重要的施肥方式。缓释肥是以各种调控机制使养分按照设定的释放模式缓慢释放的肥料,能有效延长植物对养分的吸收利用^[1-2]。与普通肥料相比,缓释肥具有减少施肥次数、节省劳力、操作简单和科学环保等优点,可使肥料发挥最大的肥效;养分可根据植株吸收规律指数级释放,减少淋溶量,从而提高肥料利用率,有效降低育苗成本^[3-5]。容器育苗过程中,科学使用缓释肥是实现育苗精准施肥的重要途径,是容器育苗技术的重要发展方向^[6]。容器苗前期养分积累不足,不仅影响苗期生长,还会导致造林后苗木生长速度缓慢,而缓释肥能为苗木提供长期养分供应,加强养分库的科学构建,促进苗木生长和提高造林成效。但缓释肥同样存在施用量范围问题,苗木施肥量的确定受树种、基质肥力和气候环境等诸多因素影响,施肥量过低导致苗木生长不良,施肥量过高则会对苗木产生肥害并抑制生长。

紫楠(*Phoebe shearereri*)为樟科(Lauraceae)楠属(*Phoebe*)常绿阔叶乔木,已被列为国家重点保护树种,主要分布在长江流域及以南地区;紫楠集药、食、材和观赏价值为一体,防风、防火、较耐寒,病虫害少,值得大力推广^[7]。紫楠现存野生资源破坏严重,为加快苗木繁育速度,开展紫楠容器育苗技术和精准施肥技术研究刻不容缓。本研究以紫楠实生苗为试验材料,通过分析不同缓释肥水平对苗木生长的影响,拟筛选出适合1年生紫楠容器苗培育的缓释肥施用量范围,为其规模化生产提供理论支撑。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与地点

试验地点位于南京林业大学校园内,属亚热带季风性气候,夏季高温多雨,冬季温和少雨,年平均气温约 15.5°C ,一般夏季最高温度在 38°C ,冬季最低气温在 -8°C ,年平均降水量为 $1\,053 \text{ mm}$,平均日照时间 $2\,240 \text{ h}$ 。紫楠种子采自苏州市吴中区穹窿山,育苗基质为江苏兴农基质科技有限公司生产

的育苗专用基质,以泥炭和椰糠为主要原料,质地疏松,富含有机质;育苗容器为 $16 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ 无纺布育苗袋。缓释肥为精准奥绿肥 318 s($15-9-11+2\text{MgO}+\text{TE}$),N、P、K 比例为 $15:9:11$,加镁加微量元素,属于均衡释放型肥料,肥效 $8\sim 9$ 个月,作为基肥按照试验设计用量直接均匀拌入育苗基质中使用。

1.2 试验方法

紫楠种子催芽方法见文献[8]。当紫楠芽苗长至真叶展开时,进行芽苗移栽。试验于4月27日,选取高度基本一致的芽苗进行移栽,移栽时切除芽苗主根底部的 $1/2$ 部分,基质用量以装满育苗袋为宜。缓释肥施用试验采用单因素随机区组设计,设4个施用量梯度,分别为 F_1 $2.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 F_2 $2.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 F_3 $3.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 F_4 $3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,每个处理设3次重复,每个重复10株苗木。移栽后,将容器苗置于设有遮阳网和自动喷灌装置的苗床上,及时浇透“定根水”,设置自动喷雾间隔和时间,以苗木叶面湿润为宜,后期根据天气和栽培基质墒情调节喷雾间隔和时间,同时注意及时人工除草。

1.3 苗木生长、生理及根系指标测定

自5月6日至12月6日,每隔1个月测定1次苗木高度和地径。测定时,每个处理每个重复随机抽取5株苗木进行测量。苗高测量采用精度为 0.1 cm 的直尺,地径测量采用精度为 0.01 mm 的电子游标卡尺。

8月15日,从各处理各重复苗木中随机采集生长方向、高度、大小较一致的叶片数枚,使用去离子水冲洗干净,用于测定相关生理指标。叶绿素含量采用丙酮乙醇混合液方法测定,可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定,可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝法测定^[9]。

12月15日,从每处理每重复中随机抽取5株苗木进行根系扫描并测定苗木重量。将容器苗基质轻轻打散,流水缓缓冲洗干净根部基质,采用 WinRHIZO PRO 2007 根系分析系统对每株苗木根系

进行扫描,计算根系总长、根系表面积、根系体积和总根尖数等指标。苗木稍晾干,分为地上部分和地下部分,地下部分再分为主根和侧根,用精度为 0.001 g 电子天平分别称其鲜重。将各部分分别装入纸质信封,放入烘箱中,105 ℃ 杀青 30 min 后将温度设定在 80 ℃,烘至恒重,称其干重。

1.4 数据统计与分析

采用 Excel 软件进行数据汇总整理,分析并绘制指标变化图,采用 SPSS 20.0 进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 缓释肥施用量对苗木苗高、地径生长的影响

不同缓释肥施用量水平下,紫楠容器苗苗高、地径生长动态情况见图 1。由图 1 可知,前 1 个月内,因紫楠芽苗切根移栽后根系重建需一定时间,且缓

释肥因温度低释放较为缓慢,各施肥水平间苗木的生长无明显差异。6 月进入速生期后,紫楠苗木根系逐渐恢复吸收能力,生长所需养分增多,且随着温度的升高,缓释肥释放速率逐步增大,各施肥处理间的苗木生长差异越来越明显。6—8 月为苗木高生长的高峰期,8—10 月主要是苗木地径的快速增粗期。10 月之后,苗木生长基本停止,苗木开始进入休眠期。缓释肥处于 F_4 水平时,苗木前期苗高、地径增长量较大,但到后期逐步减缓;而在 F_3 施用量水平下,苗木苗高、地径从 7 月初一直保持领先,至 12 月达到最大值。经过一个生长季后,施用 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 缓释肥的苗木苗高增长量分别为 6.60、7.57、8.28、7.80 cm,增幅分别为 1.22%、1.40%、1.55%、1.45%;各施肥水平下,苗木地径增长量分别为 3.19、3.57、3.89、3.79 mm,增幅分别为 2.75%、3.10%、3.41%、3.27%。

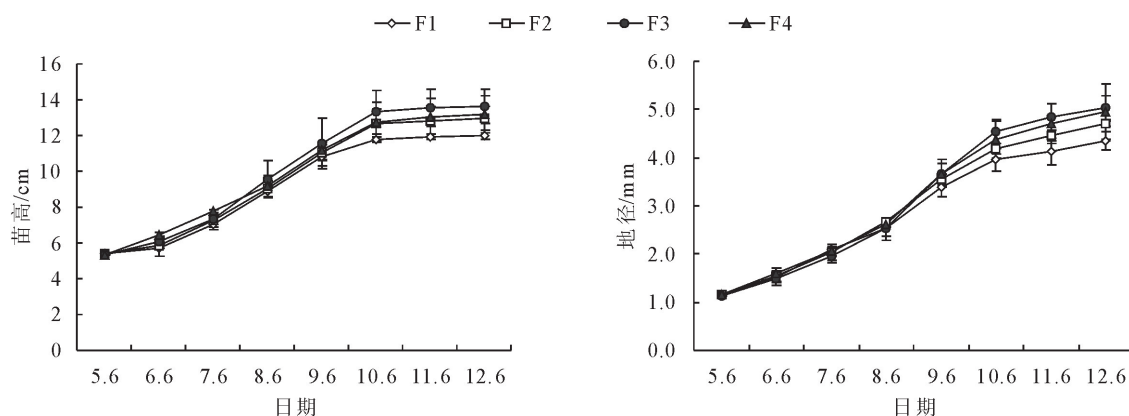


图 1 紫楠苗木苗高、地径生长动态

Fig. 1 The growth of seedling height and diameter of *Phoebe sheareri*

对 12 月 6 日测定的苗木数据进行多重比较,结果见表 1。由表 1 可知,适当增加缓释肥施用量,能有效提高苗木苗高、地径增长量。当缓释肥施用量增至 F_3 水平时 ($3.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$),紫楠苗木的苗高、地径最大,分别为 13.63 cm 和 5.03 mm,显著高于 F_1 水平,但与 F_2 和 F_4 水平差异不显著。但缓释肥施用量增至 F_4 水平时,苗木苗高、地径开始下降,说明过量的缓释肥对紫楠苗木高生长和粗生长产生了抑制作用。4 组不同缓释肥施用量水平间,紫楠苗木的高径比不存在显著差异,介于 2.68~2.77。

2.2 缓释肥施用量对苗木生物量的影响

由表 2 可知,紫楠苗木地上部分和地下部分的生物量随着缓释肥施用量的增加呈现先增加后降低的变化趋势,在 F_3 施用量水平即 $3.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时,除苗木主根鲜重和干重外的其他指标均达到最大值。以苗木干重为例,在 F_3 施用量水平时,苗木地上部分和地下部分的干质量分别为 $2.07 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$

和 $1.85 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$,相较于 F_1 水平分别提高了 132.58%、137.18%;其侧根干质量达到 $1.16 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$,是 F_1 施用量苗木的 3.31 倍。优质苗木并不要求主根过于发达,侧根的生物量是衡量苗木质量的重要指标。在 F_2 施用量时,苗木的主根干质量最大,为 0.6 g,但苗木侧根干重却显著低于 F_3 、 F_4 水平。在 F_3 施用量时,苗木侧根干重最大,显著高于其他缓释肥施用量,且苗木主根干重与 F_2 水平差异

表 1 12 月份紫楠苗木苗高、地径及高径比测定结果

Table 1 The result of seedling height growth, diameter and height-to-diameter ratio of *P. sheareri* on Dec.

缓释肥	苗高/cm	地径/mm	高径比
F_1	$12.02 \pm 0.25 \text{ Ab}$	$4.35 \pm 0.20 \text{ Ab}$	$2.77 \pm 0.13 \text{ Aa}$
F_2	$12.96 \pm 0.66 \text{ Aab}$	$4.72 \pm 0.06 \text{ Aab}$	$2.75 \pm 0.14 \text{ Aa}$
F_3	$13.63 \pm 0.97 \text{ Aa}$	$5.03 \pm 0.26 \text{ Aa}$	$2.71 \pm 0.06 \text{ Aa}$
F_4	$13.17 \pm 1.02 \text{ Aab}$	$4.95 \pm 0.58 \text{ Aab}$	$2.68 \pm 0.27 \text{ Aa}$

注:同列数据不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$),同列数据不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

表 2 紫楠苗木生物量测定结果

Table 2 The result of seedlings biomass of *P. shearerii* g · 株⁻¹

缓释肥	地上部分		地下部分		主根		侧根	
	鲜质量	干质量	鲜质量	干质量	鲜质量	干质量	鲜质量	干质量
F ₁	2.36±0.17Cc	0.89±0.10Cc	2.46±0.10Cc	0.78±0.05Bc	1.08±0.10Bb	0.42±0.05Bb	1.38±0.13Cc	0.35±0.01Cc
F ₂	3.60±0.54Bb	1.46±0.22Bb	4.02±0.67Bb	1.41±0.26Ab	1.96±0.28Aa	0.82±0.14Aa	2.06±0.42Cc	0.59±0.14BCc
F ₃	4.89±0.30Aa	2.07±0.10Aa	5.59±0.52Aa	1.85±0.29Aa	1.54±0.22ABa	0.68±0.17ABa	4.05±0.32Aa	1.16±0.14Aa
F ₄	4.33±0.11ABa	1.83±0.09ABa	5.00±0.47ABa	1.64±0.21Aab	1.79±0.29Aa	0.77±0.13ABa	3.21±0.47Bb	0.87±0.17ABb

不显著。但当缓释肥量增至 F₄ 水平时,除苗木主根外的其余各项指标均出现下降的现象,苗木干质量仅为 3.47 g · 株⁻¹,比 F₃ 施用量水平降低了 0.45 g · 株⁻¹,降幅为 11.48%。由此可见,适度施用缓释肥可有效促进苗木的生长发育,但施用过量,则会对苗木造成伤害,影响苗木的正常生长。

2.3 缓释肥施用量对苗木根系形态的影响

不同缓释肥施用量水平下的紫楠苗木根系形态指标测定结果见表 3。由表 3 可知,经过一个生长季之后,不同缓释肥施用量对紫楠苗木根系形态的影响较为显著。在 F₁ 水平时,苗木的各项根系指标均为最小值,可见紫楠苗期生长缓慢,需肥量较大,该水平的缓释肥施用量未能满足苗木的生长需求。当缓释肥施用量达到 F₃ 水平时,除主根长外的其他苗木根系形态指标均达到最大值,其中根系总长为 204.28 cm,根系表面积为 157.51 cm²,根系体积为

12.46 cm³,均极显著高于 F₁ 施用量水平,相比增幅分别达到 17.60 %、97.04 %、284.57 %;苗木一级侧根数为 15.53 条,分别是 F₁ 水平和 F₄ 水平的 1.46 倍和 1.18 倍;苗木总根尖数达 597.33 个,显著高出其他施肥水平,说明在该缓释肥施用量水平下的苗木根系相比已达到最佳状态。在 F₂ 施用量水平时,紫楠苗木的主根最长,为 6.51 cm,较 F₁ 水平增加了 23.53 %,但与 F₃ 水平差异不显著。当缓释肥施用量增至 F₄ 水平时,苗木根系形态各项指标出现下降趋势,其中,苗木根系总长、一级侧根数和总根尖数更是低于 F₂ 施肥水平,施肥量增大非但没有促进苗木根系生长,反而严重抑制了苗木根系生长。综上所述,缓释肥的施用有利于苗木根系高效吸收养分,在一定范围内随着缓释肥施用量的增加,苗木根系更加发达,根构型更加合理;若继续增加施用量,则可能出现苗木烧根现象,产生肥害,影响苗木生长。

表 3 紫楠苗木根系形态指标测定结果

Table 3 The result of seedling root morphology of *P. shearerii*

缓释肥	根系总长/cm	根系表面积/cm ²	根系体积/cm ³	主根长/cm	一级侧根数/条	总根尖数/个
F ₁	173.71±6.37Bc	79.94±3.47Dd	3.24±0.24Cc	5.27±0.57Bb	10.67±0.70Bc	403.33±36.02Bc
F ₂	187.80±5.13ABb	114.70±4.77Cc	7.32±1.08Bb	6.51±0.30Aa	13.67±0.42ABab	504.33±35.80ABb
F ₃	204.28±6.80Aa	157.51±7.28Aa	12.46±0.79Aa	6.15±0.36ABa	15.53±1.17Aa	597.33±41.05Aa
F ₄	169.63±8.64Bc	135.44±9.22Bb	11.87±0.85Aa	5.31±0.22Bb	13.13±1.63ABb	465.67±39.51Bbc

2.4 缓释肥施用量对苗木生理指标的影响

2.4.1 缓释肥施用量对苗木叶片叶绿素质量分数的影响 由表 4 可知,施用缓释肥可有效提高紫楠苗木的叶片叶绿素质量分数,各施用量水平下苗木叶片叶绿素质量分数大小排序为 F₃>F₄>F₂>F₁,且不同的缓释肥水平间苗木叶片叶绿素质量分数存在显著差异。在 F₃ 水平即缓释肥施用量为 3.0 kg · m⁻³ 时,紫楠苗木叶片的叶绿素 a 质量分数最高,为 3.54 mg · g⁻¹,显著高于 F₁、F₂ 与 F₄ 施用量水平,增幅分别为 25.98%、17.22% 和 10.63%。F₄ 施用量水平次之,苗木叶片叶绿素 a 质量分数高出 F₁ 水平 0.39 mg · g⁻¹,且两者之间的差异达到极显著水平。F₂ 施用量水平的苗木叶片叶绿素 a 质量分数略高于 F₁,但两者差异不显著。

F₁ 施用量的紫楠苗木叶片叶绿素 b 质量分数

最低,与 F₃ 施用量苗木叶片相比减少了 0.28 mg · g⁻¹,降幅达 24.35%,两者差异达到极显著;F₂ 与 F₄ 施用量水平的苗木叶片叶绿素 b 质量分数处于中间,且两者差异不显著。在 F₃ 施用量水平时,紫楠苗木叶片叶绿素质量分数最大,为 4.69 mg · g⁻¹,高出 F₁ 水平 27.10%;在 F₂ 与 F₄ 施用量水平时,苗木叶片叶绿素质量分数差异较小,但 F₄ 极显著高于 F₁ 水平,而 F₂ 水平与 F₁ 水平差异不显著。分析认为,苗木叶片中叶绿素质量分数主要与肥料中 N 质量分数密切相关,其质量分数一般随肥料中的 N 增加而呈现先增高后降低的变化趋势。

2.4.2 缓释肥施用量对苗木叶片可溶性糖和可溶性蛋白质量分数的影响 由表 4 可知,随着缓释肥施用量的增加,紫楠苗木叶片中的可溶性糖和可溶性蛋白质量分数均呈现上升趋势,在 F₃ 施用量(3.0 kg

• m^{-3})时达到最大值,继续增加施用量至 F_4 水平,叶片可溶性糖和可溶性蛋白质量分数均呈现下降的变化趋势。在 F_3 缓释肥施用量时,紫楠苗木叶片中可溶性糖质量分数最高,为 $23.92 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,相比 F_1 、 F_2 与 F_4 施用量水平,分别高出 2.94 、 1.76 、 $1.66 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,增幅分别为 14.01% 、 7.94% 、 7.46% ,与其余 3 种施用量水平的苗木叶片可溶性糖质量分数差异均达显著水平。在 F_1 施用量水平时,苗木叶片中的可溶性糖质量分数最低,为 $20.98 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,与 F_3 施用量的苗木质量分数差异达到极显著水平,但与 F_2 和 F_4 水平的苗木质量分数差异不显著。

表 4 紫楠苗木叶片叶绿素、可溶性糖和可溶性蛋白质量分数的测定结果

Table 4 The contents of chlorophyll, soluble protein and soluble carbohydrate in leaf of *P. sheareri* seedlings $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$

缓释肥	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素	可溶性糖	可溶性蛋白
F_1	$2.81 \pm 0.11\text{Cc}$	$0.87 \pm 0.01\text{Bc}$	$3.69 \pm 0.12\text{Cc}$	$20.98 \pm 0.66\text{Bb}$	$7.60 \pm 0.53\text{Bc}$
F_2	$3.02 \pm 0.12\text{BCbc}$	$0.92 \pm 0.01\text{Bbc}$	$3.95 \pm 0.12\text{BCbc}$	$22.16 \pm 0.52\text{ABb}$	$8.73 \pm 0.76\text{ABbc}$
F_3	$3.54 \pm 0.12\text{Aa}$	$1.15 \pm 0.06\text{Aa}$	$4.69 \pm 0.18\text{Aa}$	$23.92 \pm 0.96\text{Aa}$	$10.04 \pm 0.51\text{Aa}$
F_4	$3.20 \pm 0.17\text{ABb}$	$0.97 \pm 0.07\text{Bb}$	$4.17 \pm 0.23\text{Bb}$	$22.26 \pm 0.97\text{ABb}$	$9.15 \pm 0.71\text{ABab}$

3 结论与讨论

不同树种对肥料的需求量存在差异,苗木在生长过程中的不同阶段对肥料的需求量也有差异,且施肥量并不是越多越好,施肥量过多过少均会影响苗木的生长,因此确定合理的施肥量尤为重要^[10]。最佳缓释肥量要保证苗木养分加载,将苗木超过正常生长所需养分贮藏在体内,使其处于奢养状态,不至于养分过低或过高而造成贫养和毒害。吴小林等^[11]在研究缓释肥施用量对 1 年生赤皮青冈容器苗的影响时证实,随着缓释肥施用量加大,苗木苗高、生物量和根系体积等指标先升后降,在施肥量为 $2.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时均达到最大值。

本研究结果表明,在一定范围内增加缓释肥施用量,有利于紫楠苗木苗高、地径生长和生物量的积累,根系构型也有所改善。在苗木生长初期,不同缓释肥施用量水平对苗木生长影响不明显,这一方面是因为紫楠芽苗经切根后幼苗期生长缓慢;另一方面缓释肥的养分释放较慢,其速率主要受包膜厚度和环境温度控制,不受土壤水分、酸碱度、微生物活性等因素的影响^[12-13]。至 7 月初,紫楠苗木进入速生期,所需养分增大,伴随着环境温度的升高,缓释肥稳步释放养分,各施用量水平间苗木长势之间的差异开始显现。当缓释肥施用量为 $3.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时,除主根以外的紫楠苗木各项生长指标均达到最大值,这种情况同样出现在樟科楠属植物浙江楠、闽楠的缓释肥试验研究中^[14]。

本研究对紫楠苗木的形态指标测定结果表明,

在 F_3 施用量水平下的紫楠苗木叶片中可溶性蛋白质量分数为 $10.04 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,显著高出 F_1 和 F_2 水平,增幅分别为 32.11% 和 15.01% ,且与 F_1 施用量的苗木质量分数之间的差异达到极显著水平,但与 F_4 施用量的苗木质量分数差异不显著。施用 F_2 缓释肥的苗木叶片中可溶性蛋白质量分数为 $8.73 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,相较于 F_4 施用量的苗木质量分数减少了 $0.42 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,但高出 F_1 水平 $1.13 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,但与 F_4 和 F_1 施用量的苗木质量分数差异均未达到显著水平。 F_4 施用量的苗木叶片中可溶性蛋白质量分数显著高于 F_1 水平,增幅达 20.39% 。

随着缓释肥施用量的增加,N 素供应随之增加,苗木进行光合作用产生的能量更多,生物量积累更多,使得苗木的形态指标表现出明显的升高。但当施肥量提高至 $3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时,紫楠苗木的地上和地下部分的鲜重和干重,根系表面积、体积,总根尖数、一级侧根数等均有所下降;虽然此时苗木高度与缓释肥施用量为 $3.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时的苗木高度差异不大,但苗木高径比增大,苗木总体的形态指标呈现明显下降的变化趋势。根系作为吸收水分和营养元素的源头,不断为苗木地上部分提供养分。K 含量对苗木根系影响较大,在本研究中,适量增加缓释肥施用量,K 含量增多,对于紫楠苗木根系发育和枝叶生长具有一定的促进作用;当缓释肥的施用量达到 $3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时,栽培基质中的 K 含量可能已经超过了一年生紫楠苗木根系的生长需求,反而抑制了根系的生长发育和对营养物质的吸收。由此可见,缓释肥施用过量会抑制紫楠苗木的生长,尤其影响地下根系的生长,这与杉木^[15]、黄连木^[16]等树种的施肥试验研究结果相符。樟子松缓释肥施用试验过程中同样出现类似情况,当缓释肥施用量达到 $2.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时,苗木地下部分侧根减少,生物量下降^[17]。王艺等^[18]研究指出,缓释肥过量会抑制苗木体内 P 质量浓度,影响苗木生长。因此,过量施用缓释肥将导致 N、P、K 3 种元素相互作用,影响苗木根系吸收,产生了肥害,从而引起苗木根系形态指标下降^[19-20]。

本研究对紫楠苗木生理指标进行测定,证实适量增加缓释肥施用量可以显著提高紫楠苗木叶绿素和营养物质的含量。已有研究表明,容器苗由于初

始基质肥力和容器空间的影响,生长至一定阶段会受限,施肥能改变容器苗根际土壤内微生物酶和种群的活性,影响根系对营养物质的吸收与利用,促进叶绿素、蛋白质和碳水化合物的形成,提高苗木出圃时的品质^[21]。肖遥等^[22]研究证实 $3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 缓释肥施用量有利于浙江楠容器苗养分库中 N 素的积累,而 $1.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 的缓释肥加载量有助于 P 素养分库的构建。由于树种、育苗基质肥力和环境等因素不同,本研究在 $3.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 缓释肥施用量水平下,紫楠苗木的各项生理指标达到最高值,叶绿素和可溶性糖含量显著高于其他施用量水平。N 是植物体需求量最大的矿质营养元素,也是叶绿素的重要组成部分。缓释肥中 N 素所占比例较大,在一定范围内,随着 N 素的增多,苗木叶片中叶绿素含量增大,叶片光合作用增强,间接提高了苗木体内营养物质的含量^[23]。当缓释肥施用量增至 $3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时,栽培基质中的 N、P、K 元素均有所增加,但对苗木却产生了抑制作用,各项生理指标均呈现出下降的变化趋势,虽然相关指标数值上仍略高于缓释肥施用量为 $2.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时的苗木含量,但当缓释肥施用量为 $3.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时,就已经可以满足 1 年生紫楠苗木生长对于肥料的需求,说明过量施用肥料不仅造成资源浪费,更会抑制苗木根系对营养元素的吸收,同时影响苗木地上部分的生长。

综上所述,适量施用缓释肥有利于苗木根系生长和对于营养元素的高效吸收,提高苗木质量。综合考虑苗木各项生长指标和生理指标,可选用缓释肥 $3.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 施用量作为 1 年生紫楠苗木培育过程中的推荐施肥量。本研究为突出缓释肥的使用价值,而未对不同育苗混合基质中的 N、P、K 等元素含量进行精确测定,没有考虑未使用缓释肥的基质育苗情况,这些有待在后续研究中深入探究。

参考文献:

- [1] 陈勋,王红娟,杨先进,等. 浅论缓释肥的研究进展[J]. 农业科学与技术(英文版),2015(12):2699-2702.
- [2] YANG Y,ZHOU C,NA L, *et al.* Effects of conservation tillage practices on ammonia emissions from Loess Plateau rainfed winter wheat fields[J]. *Atmospheric Environment*, 2015, 104:59-68.
- [3] 陈艺易,颜建明,马宁,等. 缓释肥替代普通化肥对大棚茼蒿产量及品质的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2021,56(1):50-57, 65.
- [4] CORTINA J,VILAGROSA A,TRUBAT R. The role of nutrients for improving seedling quality in drylands[J]. *New Forests*, 2013, 44(5):719-732.
- [5] 李国雷,刘勇,祝燕,等. 苗木稳态营养加载技术研究进展[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2011,35(2):117-123.
- [6] HAASE D L,ROSE R,TROBAUGH J. Field performance of three stock sizes of douglas-fir container seedlings grown with slow-release fertilizer in the nursery growing medium[J]. *New Forests*, 2006, 31(1):1-24.
- [7] 李军,陆云峰,杨安娜,等. 紫楠天然群落物种多样性对不同干扰强度的响应[J]. 浙江农林大学学报,2019,36(2):279-288.
- [8] 姜宗庆,李成忠,周霞,等. 紫楠种子休眠特性及解除措施研究[J]. 种子,2020,39(12):92-94,98.
- [9] 张治安,陈展宇. 植物生理学实验技术[M]. 长春:吉林大学出版社,2008:21-22,33-35.
- [10] 邱琼,陈勇,杨德军,等. 缓释肥施用量对缅甸楠容器苗生长及养分含量的影响[J]. 湖南林业科技,2020,47(2):42-46.
- [11] 吴小林,张东北,楚秀丽,等. 赤皮青冈容器苗不同基质配比和缓释肥施用量的生长效应[J]. 林业科学研究,2014,27(6):794-800.
- [12] FRANCIS S K,DOUGLASS J F,ZONDA 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.
- [13] 龚睿,沈永宝,史锋厚. 基于雪梨容器苗生长和养分库的最佳施肥量确定[J]. 东北林业大学学报,2018,46(3):40-44.
- [14] 周成敏,张东北. 不同基质和缓释肥对 3 种珍贵树种网袋容器育苗苗木生长的影响[J]. 湖南农业科学,2013(5):105-107.
- [15] 尚彬. 缓释肥对杉木容器育苗生长的影响[J]. 四川林业科技, 2017, 38(3):93-94,119.
- [16] 宋协海,郭欢欢,刘勇,等. 黄连木容器苗生长对缓释肥的响应[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2018,42(3):117-122.
- [17] 毕雷雷. 樟子松容器育苗技术的研究[D]. 南京:南京林业大学,2014.
- [18] 王艺,王秀华,吴小林,等. 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,2015,49(12):57-63.
- [19] HAWKINS B J,BURGESS D,MITCHELL A K. Growth and nutrient dynamics of western hemlock with conventional or exponential greenhouse fertilization and planting in different fertility conditions[J]. *Canadian Journal Forest Research*, 2005, 35(4):1002-1016.
- [20] 庞圣江,马跃,张培,等. 基质配比和缓释肥用量对望天树容器苗的生长效应[J]. 西北林学院学报,2018,33(6):66-71.
- [21] 李桃祯,邹清涛,侯小青,等. 配方施肥对刨花润楠土壤养分、微生物生物量及酶活性的影响[J]. 广西林业科学,2019, 48(1):67-73.
- [22] 肖遥,楚秀丽. 缓释肥加载对 3 种珍贵树种大规格容器苗 N、P 库构建的影响[J]. 林业科学研究,2015,28(6):781-787.
- [26] 胡厚臻,侯文娟,潘启龙,等. 配方施肥对刨花润楠幼苗生长和光合生理的影响[J]. 西北林学院学报,2015,30(6):39-45.