

不同施肥处理对 3 种海岛樟科树种苗木生长的影响

陈闻^{1,2}, 邱海啸¹, 於修龄², 吴海平¹, 贺位忠¹

(1. 舟山市林业科学研究院, 浙江 舟山 316000; 2. 浙江农林大学 环境与资源学院, 浙江 杭州 311300)

摘要: 为了解不同施肥方式对普陀樟 *Cinnamomum japonicum* var. *chenii*、红楠 *Machilus thunbergii*、舟山新木姜子 *Neolitsea sericea* 3 种海岛樟科 Lauraceae 树种苗木生长和植株养分累积的影响, 本研究通过盆栽试验, 对比了不施肥 (CK)、施用有机肥 (Y)、复合肥 (F) 及混合肥 (YF), 对苗木株高、地径生长的影响和植株养分累积的影响。结果表明: (1) 施用有机肥 ($6\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$) 对普陀樟苗木的株高、地径生长促进效果最佳, 分别较 CK 提高了 7.54% 和 95.07%; 施用混合肥 ($3\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$), 对红楠、舟山新木姜子的株高和地径生长具有最佳的促进效果。(2) 从 3 个树种苗木的养分分布特征来看, N、P 元素主要积累在根部和叶片, K 元素则在根部含量较高; 从不同处理比较来看, 在复合肥处理和混合肥处理下苗木不同部位 N 元素的积累量显著高于有机肥处理和 CK。不同施肥处理苗木的 P 元素含量与 CK 相比无显著差异, 只有在复合肥 $9\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 水平下, 普陀樟苗木根部的 K 含量显著高于 CK ($P<0.05$)。(3) 相关性分析及 Mantel test 检验结果显示, 土壤 pH 值对红楠的生长与具有显著的负驱动作用 ($P<0.01$), 较低的 pH 值对红楠苗木生长有较大的抑制作用; 土壤 N 含量对 3 个树种的株高、地径生长具有正驱动作用 ($P<0.01$)。但是 N 元素过多积累不利于这 3 个树种苗木的株高、地径生长, 而 P 和 K 元素的含量对植物的生长影响并不大。上述研究表明, 不同苗木对养分需求不同, 对普陀樟来说, 施用 $6\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 有机肥能达到最佳育苗效果; 对红楠和舟山新木姜子苗木而言, 施用 $3\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 混合肥的育苗效果最佳。

关键词: 普陀樟; 红楠; 舟山新木姜子; 施肥; 黄腐酸; 苗木生长

中图分类号: S606; S792.23

文献标识码: A

文章编号: 1001-3776(2023)04-0114-08

Effect of Different Fertilization Treatments on Growth of Three Species of Lauraceae in Island

CHEN Wen^{1,2}, QIU Haisheng¹, YU Xiuling², WU Haiping¹, HE Weizhong¹

(1. Zhoushan Forestry Academy of Zhejiang, Zhoushan 316000, China; 2. School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China)

Abstract: On April 30, 2022, 3-year seedlings of *Cinnamomum japonicum* var. *chenii*, *Machilus thunbergia* and *Neolitsea sericea* were potted in Zhoushan, Zhejiang province. Experiment was conducted on fertilization of different quantity of organic fertilizer (Y), compound fertilizer (F) and mixture of organic fertilizer and compound fertilizer (YF), with non fertilizer as CK on May 8, 2022. On September 22, 2022, the test finished and determination was implemented on height and ground diameter of seedlings, as well as on soil physio-chemical properties and nutrient content in different organs of seedlings. The results revealed that seedling treated by organic fertilizer (6 g/plant) had the best effect of height and ground diameter growth of *C. japonicum* var. *chenii*'s (increased by 7.54 and 95.07 % compared with CK). For *M. thunbergia* and *N. sericea*, the mixture fertilizer (3 g/plant) had the best effect on height and ground diameter. Accumulation of N and P of tested seedlings occurred mainly in root and leaves. In contrast, the accumulation of K only occurred in root. Accumulation of N at different organs of seedlings treated by compound fertilizer

收稿日期: 2022-11-20; 修回日期: 2023-03-25

基金项目: 浙江省土壤污染生物修复重点实验室开放基金项目 (FSLAB2020006); 2021 年浙江省林业专项资金项目; 舟山市科技计划项目 (2019C31034)

作者简介: 作者简介: 陈闻, 工程师, 从事植物营养与土壤肥料研究; E-mail: 234928596@qq.com。通信作者: 贺位忠, 教授级高级工程师, 从事森林培育研究; E-mail: 454462278@qq.com。

and mixture fertilizer was larger than that treated by organic fertilizer and CK. P content in treated seedling had no great difference with that in the control. K content at root of *C. japonicum* var. *chenii* treated by compound fertilizer of 9 g/plant was evidently higher than that of CK. Correlation analysis and mantel test resulted that the soil pH had negative relation with growth of *M. thunbergia* ($P < 0.01$). The N content in soil had positive relation with height and ground diameter growth of three species ($P < 0.01$). The effect of P and K content had no great effect on growth. The result indicated that organic fertilizer of 6 g/plant had the best effect for *C. japonicum* var. *chenii*, whereas mixture of 3 g/plant fertilizer for *M. thunbergia* and *N. sericea*.

Key words: *Cinnamomum japonicum* var. *chenii*; *Machilus thunbergia*; *Neolitsea sericea*; fertilization; fulvic acid; seedling growth

红楠 *Machilus thunbergii*、普陀樟 *Cinnamomum japonicum* var. *chenii* 和舟山新木姜子 *Neolitsea sericea* 分别隶属樟科 Lauraceae 润楠属 *Machilus*、樟属 *Cinnamomum* 和新木姜子属 *Neolitsea*, 均为常绿乔木, 其中, 红楠为国家三级保护优良珍稀树种, 普陀樟和舟山新木姜子均为国家二级保护植物, 3 个树种天然分布于临海山坡, 形成了抗风、抗海雾、耐盐碱、耐干旱、耐瘠薄等优良性状, 是舟山海岛地区主要造林绿化树种^[1-3]。施肥是促进苗木生长, 提升苗木品质的一项有效措施。经过十几年的研究, 针对红楠、普陀樟、舟山新木姜子等典型海岛樟科苗木的保存繁育技术已相对较成熟^[4-6], 而营养调控作为提升苗木质量的关键途径, 也越来越受到研究人员的关注^[7-8]。长期的实践结果表明^[1-3], 3 年生苗木在舟山海岛地区用于造林最为适宜, 苗木过小容易被杂草遮荫影响生长和成活率, 而苗木过大, 不但增加了培育、运输成本, 移栽后成活率也并不理想。因此, 在整个育苗阶段, 苗木第三年(特别是 5—9 月)的长势非常关键。优化施肥管理措施(包括合理调节施肥量以及新型肥料的施用), 对提高苗木关键阶段的长势、培养优质苗木、提高苗木移栽后的存活率至关重要。

黄腐酸类有机肥是一种优质有机肥, 在普通有机肥的基础上增添了黄腐酸(Fulvic acid, FA)。黄腐酸是腐殖类物质中的精华部分, 主要有改良土壤、促进土壤有益微生物的生长繁殖、提高养分元素有效性、增强植物抗逆性等作用, 而黄腐酸最重要的特点是分子量小, 可直接被植物根系或通过气孔被叶片吸收利用^[9-10]。由于具备诸多优点, 因此黄腐酸类有机肥近年来在农业生产上成为了一种新型热门的有机肥产品; 在稻 *Oryza sativa*、瓜果蔬菜及经济果木等多种作物栽培上广泛应用^[11-15], 而关于黄腐酸肥料在苗木培育中的应用研究鲜有报道^[16-17]。因此, 笔者前期针对普陀樟等海岛特色树种开展了不同施肥量、施肥方式等方面的研究^[18-21], 取得了一定的研究成果, 而对黄腐酸这一新型肥料在典型海岛樟科树种苗木培育中的应用尚属首次探索。鉴于此, 本研究以普陀樟、红楠、舟山新木姜子 3 种主要海岛造林绿化树种苗木为对象, 通过盆栽试验, 研究黄腐酸肥料和常规复合肥对 3 种苗木在育苗关键阶段生长的影响, 旨在为优化海岛主要造林树种苗木培育提供科学依据和技术途径。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于舟山市林业科学研究院国家海岛特色树种林木良种基地(29°58'47" ~ 30°16'44" N, 122°05'33" ~ 123°11'44" E)进行。试验地属中亚热带北缘季风气候区, 年平均气温为 16.5 °C, 年平均降水量为 1 351.3 mm, 全年无霜期为 251 d。供试苗木均为 3 年生实生苗, 长势基本一致, 其中, 普陀樟平均株高为 76.70 cm, 平均地径为 8.33 mm; 舟山新木姜子平均株高为 49.60 cm, 平均地径为 6.11 mm; 红楠平均株高为 65.18 cm, 平均地径为 8.66 mm。3 种苗木均由舟山市林业科学研究院苗圃基地提供。试验用土壤为基地普通圃地土, 土壤基本理化性质为: pH 5.86、有机质含量 20.32 g·kg⁻¹、碱解氮含量 85.30 mg·kg⁻¹、有效磷含量 157.47 mg·kg⁻¹、速效钾含量 152.78 mg·kg⁻¹。参试肥料: 复合肥由宜昌富升化工有限公司生产, 总养分 ≥ 45%, N : P₂O₅ : K₂O = 15 : 15 : 15; 有机肥为黄腐酸生物有机肥, 由山东泉林嘉有现代农业股份有限公司生产, 黄腐酸 ≥ 12%, 有机质 ≥ 40%, N-P₂O₅-K₂O 含量 ≥ 5%。

1.2 试验设计

试验采用盆栽方式进行, 定植容器规格为 12 cm(直径) × 14 cm(高), 种植土按 2 kg·m⁻³、4 kg·m⁻³、6 kg·m⁻³ 的用量分别添加肥料, 搅拌均匀, 浇水渗透平衡后备用。试验共设置 10 种处理, 为便于实际生产操作, 各处理按如下方式标记: (1)CK 处理: 纯土不施肥, 作为对照; (2)Y₂ 处理: 有机肥 2 kg·m⁻³, 按定植容器体积换算,

即 $3 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ (下同); (3) Y_4 处理: 有机肥 $4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 即 $6 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$; (4) Y_6 处理: 有机肥 $6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 即 $9 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$; (5) F_2 处理: 复合肥 $2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 即 $3 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$; (6) F_4 处理: 复合肥 $4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 即 $6 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$; (7) F_6 处理: 复合肥 $6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 即 $9 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$; (8) YF_2 处理: 有机肥 $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ +复合肥 $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (混合肥, 下同), 即 $3 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$; (9) YF_4 处理: 有机肥 $2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ +复合肥 $2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 即 $6 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$; (10) YF_6 处理: 有机肥 $3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ +复合肥 $3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 即 $9 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 。每个树种每种处理 10 株苗, 3 次重复, 随机区组设计, 于 2022 年 4 月 30 日苗木上盆定植, 定植后按苗圃地常规方式进行管理。

1.3 样品采集与测定方法

分别在 2022 年 5 月 8 日试验开始和 9 月 22 日试验结束时, 测定 3 个树种的株高和地径。试验结束后, 从各处理苗木中分别选取 3~5 株, 用蒸馏水冲洗干净并晾干, 然后将样株按根、茎、叶不同部位分类, 放置于烘箱内 $105 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 杀青 10 min, 然后在 $65 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 下烘干, 将烘干样品取出, 使用球磨机粉碎后作为待测样品备用, 同时取营养袋土壤, 置于室温下阴凉处风干, 研磨过 2 mm 和 100 目筛用于测定土壤基本理化性质和营养元素的含量。土壤和植物样品的分析参照《土壤农业化学分析方法》^[22], 土壤 pH 值采用土水比 1.0:2.5 提取, 电位法测定; 土壤有机质含量采用重铬酸钾外加热法测定; 碱解氮含量采用碱解扩散法测定; 有效磷含量采用氟化铵-盐酸·($\text{NH}_4\text{F}-\text{HCl}$) 浸提-钼锑抗比色法测定; 速效钾含量采用醋酸铵浸提-火焰光度计法测定。植物样品全氮含量采用碱解扩散法测定; 全磷含量采用钒钼黄比色法测定; 全钾含量采用火焰光度计法测定。

1.4 数据分析及处理

数据的统计分析和绘图分别使用 SPSS 24.0 和 R 软件完成; 不同施肥处理对苗木生长的影响使用单因素方差分析完成; 结果差异性多重比较使用 LSD 法完成, 统计显著性水平为 $P < 0.05$ 。在进行统计分析前, 对数据进行正态性和方差齐性检验, 确保数据符合正态分布和方差齐性。其中数据的正态性和方差齐性分别使用 Q-Q 图和 Levene's test 完成检验。本研究中所有数据均符合正态分布并满足方差齐性要求, 因此未进行额外的数据转换。Mantel test 使用基于 R 语言的 Vegen 统计包完成。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对 3 种苗木株高和地径生长的影响

不同施肥处理下 3 种苗木的生长情况如图 1。

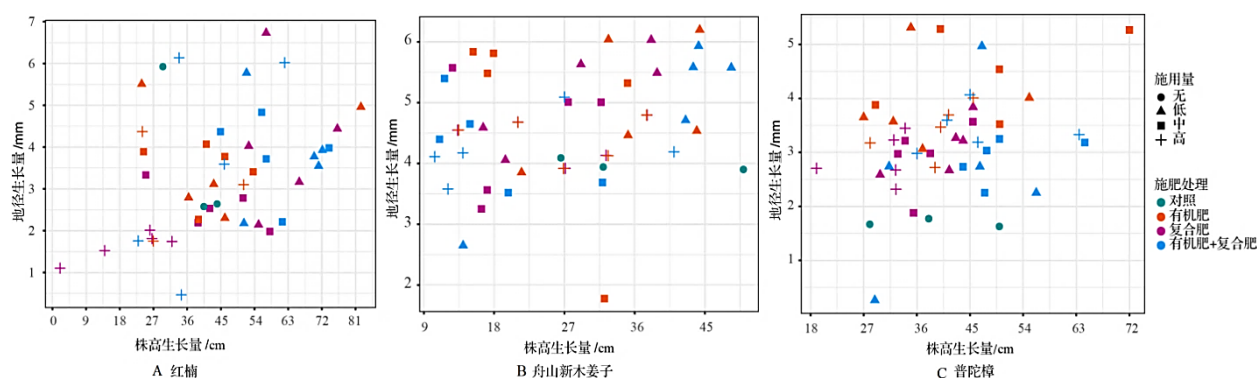


图 1 不同施肥处理下 3 种苗木的生长散点图

Fig. 1 Scatter plot of growth of tested tree species with different fertilization treatments

对于红楠 (图 1A), 单一的有机肥或复合肥处理株高和地径的生长量均随着施肥量的增加而减少, 在复合肥用量为 $9 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 时, 株高、地径生长量达到最低值; 而混合施肥处理对红楠株高、地径生长的促进效果最佳。从图 1B 可知, 混合施肥 YF_2 处理能较好地促进舟山新木姜子的株高、地径生长, 但随着施肥量的增加, 株高生长量明显下降; 添加单一的有机肥或单一的复合肥, 舟山新木姜子的株高生长量都随施肥量的增加而下降, 地

径生长量也有不同程度的降低,而只在有机肥施用量为 $3\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 时 (Y_2),舟山新木姜子表现出较好的株高、地径生长情况。对于普陀樟(图 1C),单一的有机肥处理, $3\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 和 $6\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 的施用量能较好地促进苗木的株高、地径生长,特别是促进苗木地径生长的效果明显优于其他处理;单一的复合肥处理,虽然也能促进普陀樟株高和地径的生长,但总体促进效果比较有限,并且当复合肥用量达到 $9\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 时,株高和地径生长量开始明显下降;混合施肥对普陀樟苗木的株高、地径生长促进效果比较稳定。

表 1 对不同施肥处理下 3 种苗木的株高和地径的变化情况进行了统计分析。从表 1 可知,普陀樟在 Y_4 处理下,株高和地径的生长量最大,分别为 44.95 cm 和 4.35 mm ,而在 F_6 处理下,株高和地径的生长量最小,分别为 31.78 cm 和 2.48 mm 。单一施有机肥,普陀樟的株高生长在 Y_4 和 Y_6 处理下均高于 CK,而在 Y_2 处理下要稍低于 CK;从地径生长变化来看,施肥处理的生长量均高于 CK,而当施肥量达到 Y_6 水平时,地径生长量开始显著下降 ($P<0.05$);而添加复合肥处理,普陀樟的株高、地径生长量均随着施肥量的增加而下降,在 F_6 处理下,株高生长比 CK 低了 23.97% ,地径生长量显著 ($P<0.05$) 低于 F_2 处理,3 种混合肥处理下普陀樟的株高、地径生长量之间均没有显著差异。

表 1 不同施肥处理下 3 种苗木的株高、地径生长量
Tab. 1 Height and ground diameter growth of tested tree species with different fertilization treatments

处理	普陀樟		红楠		舟山新木姜子	
	株高生长量/cm	地径生长量/mm	株高生长量/cm	地径生长量/mm	株高生长量/cm	地径生长量/mm
CK	41.80 a	2.23 c	38.32 bcd	3.76 a	38.20 a	4.70 a
Y_2	39.05 a	3.89 ab	45.85 abcd	3.54 a	35.67 a	4.73 a
Y_4	44.95 a	4.35 a	33.75 cd	3.38 a	26.75 abc	4.57 a
Y_6	44.11 a	3.21 bc	32.89 cd	2.88 a	21.65 bc	3.84 a
F_2	42.70 a	3.82 ab	57.15 ab	4.07 a	31.65 ab	4.67 a
F_4	43.99 a	2.75 bc	38.80 bcd	2.16 a	19.70 bc	5.22 a
F_6	31.78 a	2.48 c	25.64 d	2.17 a	25.50 abc	4.12 a
YF_2	40.97 a	3.20 bc	53.30 abc	4.11 a	37.95 a	4.93 a
YF_4	40.22 a	2.99 bc	62.30 a	3.76 a	17.25 bc	4.46 a
YF_6	38.78 a	2.99 bc	44.33 abcd	3.73 a	14.60 c	3.80 a

注:表中同一列数值后的不同小写字母代表差异性达显著水平 ($P<0.05$);下同。

红楠在 YF_4 处理下,株高生长量最大,为 62.3 cm ,显著高于 CK ($P<0.05$),在 YF_2 处理下,地径生长量最大,达到 4.11 mm ,从总体趋势来看,添加有机肥、复合肥或者混合肥,红楠的株高、地径生长量都随着施肥量的增加而下降。单一有机肥或单一复合肥用量在 $6\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 和 $9\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 水平下,其株高、地径生长量均低于 CK,但差异未达到显著水平。而在混合施肥条件下,红楠的株高、地径生长量显著提高,其中 YF_4 处理下的株高生长量显著高于 CK ($P<0.05$)。

舟山新木姜子的生长情况与红楠类似,随着施肥量的增加苗木的株高、地径生长量均呈现出下降的趋势,在单一有机肥处理下,当施肥量达到 $9\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 水平时,株高生长量显著低于 CK ($P<0.05$);复合肥处理施肥量在 $6\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 水平下,株高生长量与 CK 相比,显著降低 ($P<0.05$);混合肥处理,施肥量在 $6\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 和 $9\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 水平时,株高生长量同样显著低于 CK ($P<0.05$)。而红楠苗木的地径生长量与 CK 相比未达到显著水平。从不同施肥处理之间的对比来看,株高生长量的最大值和最小值分别为 YF_2 和 F_4 处理,地径生长量的最大值和最小值分别为 F_4 和 YF_6 处理。

2.2 不同施肥处理下 3 种苗木各器官中养分含量的变化

不同施肥处理下 3 种苗木不同部位的养分含量情况如表 2 所示。由表 2 可知,从 3 个树种植株不同部位 N 元素的含量来看,红楠植株叶片和根部的 N 元素含量均高于茎部,普陀樟植株不同部位的 N 元素含量由高到低依次为叶>根>茎,舟山新木姜子 N 元素含量分布的大致规律则为根>叶>茎。从 3 个树种不同施肥处理来看,在复合肥和混合肥处理下,植株不同部位的 N 元素含量都要高于有机肥处理或 CK 植株,而有机肥处理下植株各部位的 N 元素含量几乎和 CK 持平。方差分析结果表明,红楠在 YF_6 处理下,叶片中的 N 含量显著高于 3 种

有机肥处理和 CK ($P<0.05$), 在 F_6 处理下, 根中的 N 含量显著高于其他处理 ($P<0.05$), 茎中的 N 含量显著高于 CK ($P<0.05$); 普陀樟在不同施肥处理之间植株各部位的 N 含量与 CK 的差异性并不显著; 舟山新木姜子在 F_6 处理下, 根中的 N 含量显著高于 CK ($P<0.05$)。

从 3 个树种不同部位 P 元素含量变化来看, 红楠根部的 P 元素含量 (平均值 $2.33\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) 高于叶片 (平均值 $1.56\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) 和茎 (平均值 $1.52\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) 部的, 而普陀樟和舟山新木姜子根部和叶片中的 P 含量高于茎部的。从不同处理纵向比较来看, 3 个树种叶片、茎、根中的 P 含量没有显著性差异。

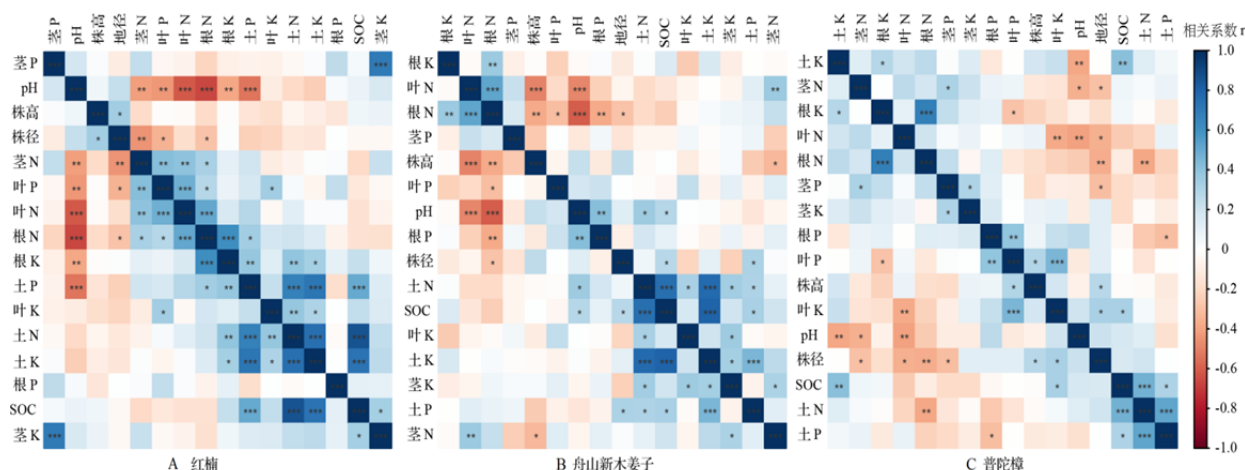
表 2 不同施肥处理下苗木的养分含量
Tab. 2 Nutrient content in different organs of tested tree species with different fertilization treatments

植株	处理	3 个树种苗木不同器官养分含量/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)								
		叶			茎			根		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K
红楠	CK	8.70 c	1.17 a	6.73 a	5.07 b	1.83 a	6.30 a	10.17 bc	1.90 a	7.70 ab
	Y_2	9.36 bc	1.32 a	5.62 a	3.84 b	1.56 a	4.98 a	9.92 bc	3.08 a	8.78 ab
	Y_4	9.98 bc	1.34 a	5.68 a	5.34 ab	1.60 a	4.92 a	7.78 c	2.38 a	7.28 b
	Y_6	8.73 c	1.48 a	6.48 a	8.33 ab	1.43 a	5.20 a	8.38 bc	2.48 a	7.45 ab
	F_2	13.06 abc	1.84 a	6.34 a	5.98 ab	1.26 a	4.56 a	16.94 b	2.96 a	11.84 a
	F_4	13.72 abc	1.92 a	5.88 a	9.22 ab	1.42 a	5.16 a	15.54 bc	2.02 a	9.90 ab
	F_6	14.56 ab	1.84 a	6.80 a	12.30 a	1.56 a	5.22 a	24.32 a	2.50 a	11.22 ab
	YF_2	12.14 abc	1.72 a	6.18 a	7.26 ab	1.52 a	5.82 a	12.22 bc	1.80 a	8.72 ab
	YF_4	12.48 abc	1.36 a	5.34 a	7.64 ab	1.58 a	5.60 a	12.40 bc	2.24 a	7.90 ab
	YF_6	15.55 a	1.58 a	4.95 a	7.38 ab	1.43 a	5.20 a	11.68 bc	1.98 a	8.73 ab
普陀樟	CK	16.83 a	1.87 a	6.80 ab	6.63 a	1.93 a	6.37 a	12.43 abc	1.93 a	5.87 b
	Y_2	14.26 a	2.22 a	7.74 ab	5.98 a	1.52 a	5.88 a	10.44 abc	3.10 a	4.54 bc
	Y_4	13.64 a	2.08 a	7.94 a	6.56 a	1.48 a	7.16 a	8.54 bc	2.68 a	5.18 bc
	Y_6	15.72 a	2.02 a	7.60 ab	6.18 a	1.58 a	6.42 a	8.00 c	2.08 a	3.22 c
	F_2	17.60 a	2.06 a	7.54 ab	9.16 a	1.76 a	6.66 a	12.74 abc	2.34 a	5.88 b
	F_4	19.80 a	1.94 a	7.48 ab	8.08 a	1.70 a	7.22 a	12.74 abc	2.14 a	6.74 ab
	F_6	17.20 a	1.74 a	6.32 b	8.50 a	1.88 a	7.16 a	14.78 a	1.86 a	8.30 a
	YF_2	17.68 a	2.06 a	7.58 ab	8.94 a	1.60 a	6.50 a	12.72 abc	3.58 a	6.10 b
	YF_4	19.00 a	2.30 a	7.36 ab	7.44 a	1.70 a	6.40 a	10.88 abc	2.20 a	5.32 bc
	YF_6	17.10 a	2.38 a	7.54 ab	8.90 a	1.56 a	7.14 a	13.54 ab	2.50 a	5.10 bc
舟山新木姜子	CK	15.17 ab	2.13 a	6.97 ab	8.10 a	1.43 a	6.80 a	14.93 b	2.37 a	14.17 a
	Y_2	12.92 b	1.96 a	7.52 ab	7.24 a	1.26 a	5.26 a	15.84 ab	2.20 a	13.46 a
	Y_4	15.74 ab	2.26 a	7.52 ab	9.06 a	1.52 a	5.80 a	14.60 b	2.74 a	10.74 a
	Y_6	16.38 ab	2.12 a	6.84 ab	9.96 a	1.62 a	5.54 a	17.16 ab	3.40 a	12.22 a
	F_2	16.94 ab	1.84 a	5.94 b	12.04 a	1.56 a	5.90 a	23.20 ab	2.08 a	19.04 a
	F_4	21.34 a	1.70 a	6.90 ab	12.22 a	1.48 a	6.44 a	23.44 ab	1.48 a	13.26 a
	F_6	17.76 ab	2.06 a	7.90 a	9.10 a	1.10 a	6.18 a	26.04 a	1.36 a	15.02 a
	YF_2	15.82 ab	1.78 a	6.12 b	8.72 a	0.94 a	4.94 a	22.78 ab	1.82 a	22.60 a
	YF_4	17.92 ab	2.16 a	6.82 ab	13.18 a	1.60 a	6.12 a	21.10 ab	3.24 a	20.86 a
	YF_6	19.70 ab	1.78 a	6.90 ab	9.26 a	3.78 a	5.30 a	24.32 ab	1.72 a	16.22 a

从 K 元素含量的变化情况来看, 舟山新木姜子根部的 K 元素含量最高, 平均值为 $15.76\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 叶片的 K 含量次之, 平均值为 $6.94\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 茎部的 K 含量最低, 平均值为 $5.83\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$; 红楠与舟山新木姜子类似, 根部的 K 含量 (平均值 $8.95\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) 高于叶片 (平均值 $6.00\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) 和茎 (平均值 $5.30\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) 部的; 而普陀樟的叶 (平均值 $7.39\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)、根 (平均值 $5.62\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)、茎 (平均值 $6.69\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) 中的 K 元素含量差异不大。从不同处理纵向对比来看, 3 个树种植株叶片和茎部的 K 含量变化不大, 而根部的 K 元素含量, 红楠在有机肥处理下与 CK 接近, 在复合肥和混合肥处理下均高于 CK; 普陀樟在 F_6 处理下, 根部的 K 含量与其他处理表现出显著差异 ($P<0.05$); 舟山新木姜子也是在复合肥和混合肥处理下植株各部位的 K 含量均高于 CK, 但差异性并不显著。

2.3 苗木生长量、养分含量和土壤基本性质的相关性

不同肥料的施用会直接导致土壤 pH 值和养分含量的改变,进而影响植物的生长和植株养分的积累。3 种苗木的生长量、养分含量与土壤基本性质三者之间的相关性如图 2。由图 2A 可以看出,红楠的根、茎和叶片中的 N 元素含量,以及叶片中的 P 元素和根中的 K 元素含量都与土壤 pH 值呈极显著负相关关系 ($P < 0.01$); 地径生长量与根、茎中的 N 含量以及叶片中的 P 含量呈显著负相关; 株高生长量与地径生长量呈显著正相关关系 ($P < 0.05$)。图 2B 表明,舟山新木姜子的株高生长量与叶片、根部的 N 含量呈极显著负相关,株高生长量和地径生长量之间未表现出显著相关关系,土壤 pH 值与苗木叶片、根部的 N 含量呈极显著负相关。图 2C 显示,与红楠类似,普陀樟的株高、地径生长量之间存在显著正相关,土壤 pH 值与叶片、茎部的 N 含量呈显著负相关,地径生长量与根部,茎部和叶片的 N 含量呈显著负相关。



注: 图中标注的根 N/P/K、茎 N/P/K、叶 N/P/K 分别表示植物根部、茎部、叶片中的全氮、全磷和全钾含量; 土 N/P/K 表示土壤中的碱解氮、有效磷、速效钾含量; SOC 表示土壤有机碳含量; pH 表示土壤酸碱度。下同。

图 2 苗木生长量、植株养分含量和土壤基本性质相关性热图

Fig. 2 Correlation heatmap of growth, nutrient content and soil properties of tested seedlings

2.4.3 种苗木生长及养分积累的驱动因子分析 Mantel test 检验结果表明 (图 3、图 4), 土壤中的 N 元素含量是红楠、舟山新木姜子、普陀樟 3 种苗木株高生长的主要驱动因子 (图 3A), 对植株生长起到正驱动作用; 土壤 pH 值对红楠的株高、地径生长起到负驱动作用; 而土壤性质对舟山新木姜子和普陀樟苗木的地径生长量的驱动作用不明显 (图 3B)。

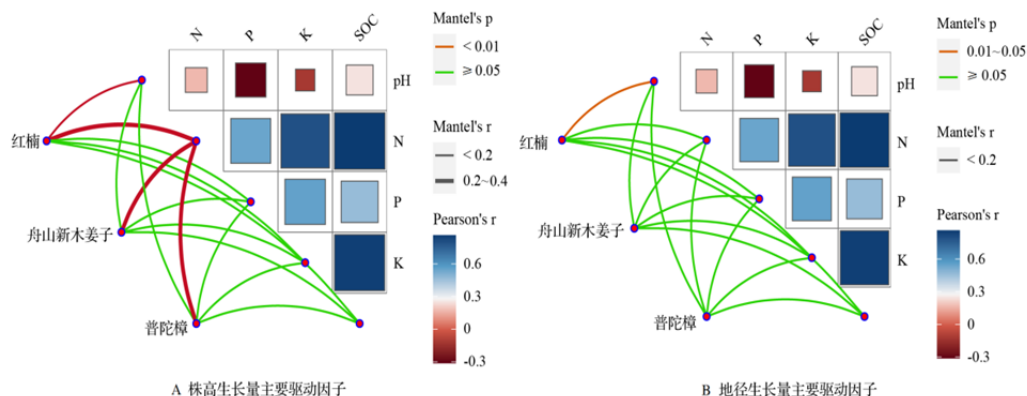


图 3 3 种苗木株高、地径生长的驱动因子

Fig. 3 Driving factors of seedling height, ground diameter growth of tested seedlings

土壤 pH 值对红楠叶、茎、根 3 部分中的养分积累起到负驱动作用; 土壤 P 含量和土壤 K 含量分别是其茎、

根养分积累的正驱动因子(图 4A)。土壤 P 含量对舟山新木姜子苗木茎中养分积累起到正驱动作用,而土壤 pH 值对其根部的养分积累起到负驱动作用(图 4B)。土壤养分以及有机质含量对普陀樟苗木各部分的养分积累均起到正驱动作用,而土壤 pH 值对普陀樟根部养分积累起到负驱动作用(图 4C)。

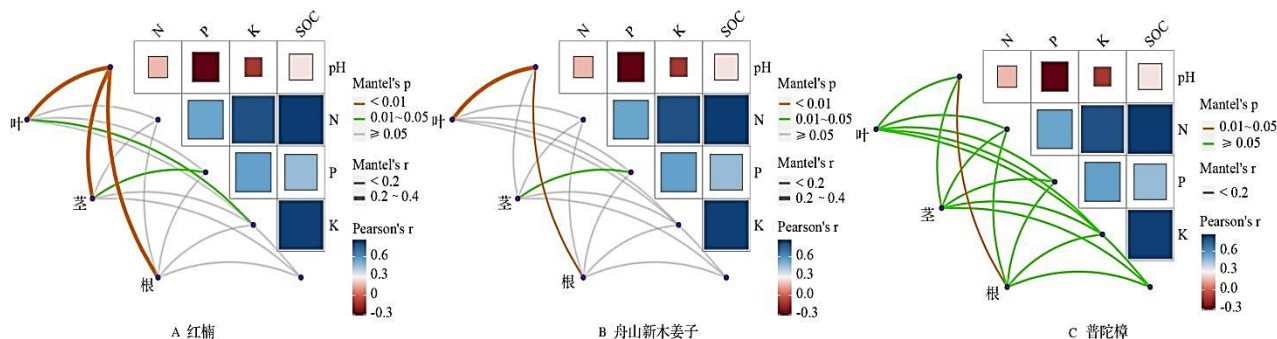


图 4 3 种苗木养分积累的驱动因子

Fig. 4 Driving factors of nutrient accumulation of tested seedlings

3 讨论

3.1 苗木的株高、地径生长

适量施肥能促进普陀樟、红楠、舟山新木姜子的株高、地径生长。不同的肥料对 3 个树种苗木的生长效果不同。施用 $6 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 的有机肥对普陀樟的株高、地径生长促进效果最佳;施用混合肥对普陀樟苗木的生长促进效果仅次于有机肥;而施用单一复合肥对普陀樟生长的促进效果不明显。混合施肥处理对红楠的生长促进效果优于单一施肥处理。施用复合肥会导致土壤 pH 值下降,进而抑制红楠地径的生长,因此,在对红楠进行施肥时要充分考虑肥料对土壤 pH 值的影响。这与伍杰等、唐晓杰等的研究结果一致^[23-24]。舟山新木姜子在低用量($3 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$)的混合施肥条件下,株高、地径生长表现最好。通过对 3 个树种苗木生长的比较可知,红楠和舟山新木姜子的生长对养分的要求更低一些,在土壤养分含量正常的情况下,增加施肥量并不能有效促进其生长;过量施肥反而会对苗木的株高和地径生长产生抑制作用,普陀樟的生长对养分的要求相对较高,因此,适当提高施肥量对普陀樟的株高、地径生长有较好的促进效果。这与马庆华等、叶可可等、龙海燕的研究结果类似^[25-27]。

3.2 苗木养分含量

从 3 个树种苗木养分含量的情况来看,不同施肥处理会影响 N 元素在植物体内不同部位的累积分配,复合肥和混合肥处理的 N 含量本身就高,而有机肥的 N 含量偏低,导致复合肥和混合肥处理的苗木 N 元素积累量要高于有机肥处理;在复合肥、有机肥或混合肥三种施肥模式下植物的 P 积累量不会引起太大改变,施肥量的增加也不会显著增加植物 P 元素的积累,这首先是由于 3 种植物在生长期对 P 元素需求本身就小,其次还与土壤中 P 元素的有效性含量高低有关^[27-28];不同施肥方式和施肥量对 3 种植物叶片、茎部的 K 含量并无显著影响,而在复合肥和混合肥处理下,可引起根部 K 含量的升高,主要原因是单一的有机肥相比复合肥或混合肥自身所含 K 元素含量要低,加上 K 元素移动性强的特点,必然导致植物根部吸收量相对较少。

3.3 苗木生长、养分含量及土壤性质的相关性

本研究结果表明,3 个树种苗木的生长量、养分含量及土壤性质有一定的相关性。其中,土壤 N 含量对 3 个树种苗木的株高、地径生长都有显著影响。此外,土壤 pH 值对红楠的株高、地径生长的影响也较为显著,土壤 pH 值还会进一步影响 3 种植物不同部位的 N、P、K 养分的积累情况,在一定范围内,随着 pH 值的升高,养分积累会呈现减少的趋势。根、茎、叶中 N 元素的积累量与植物生长存在显著负相关关系,N 元素的过量积累不利于植物的株高和地径生长^[26],而 P 元素和 K 元素的含量对 3 个树种苗木的生长影响并不显著。

3.4 施用黄腐酸有机肥的效果评价

黄腐酸生物有机肥是一种新型的有机肥料,相比普通的有机肥更容易被植物吸收利用^[10]。从本试验结果来

看,其完全适合应用于红楠、普陀樟、舟山新木姜子这3种樟科树种的苗木生产培育。从苗木培育的肥料成本来看,本试验所用复合肥在当地的零售价格在220元·包⁻¹(规格50 kg·包⁻¹)左右,所用黄腐酸生物有机肥的零售价格在110元·包⁻¹(规格50 kg·包⁻¹)左右,价格相差近一倍,依照本试验的结果,普陀樟苗木培育可用黄腐酸生物有机肥替代复合肥使用,而红楠和舟山新木姜子可用50%的黄腐酸生物有机肥与50%的复合肥混合使用,这样既可有效促进3个树种苗木的生长,又可以减少肥料用量,生态、经济效益明显提高。市面上黄腐酸类肥料种类众多,如黄腐酸有机肥、水溶肥、叶面肥、微生物肥、黄腐酸钾等,黄腐酸肥料在海岛树种苗木培育中的研究尚属初步探索,今后将进一步开展不同类型黄腐酸肥对苗木生长影响相关机理的研究。

4 结论

(1)本文研究了不同肥料和施用量对普陀樟、红楠、舟山新木姜子3个树种苗木的株高、地径生长的影响。结果表明,施用6 g·株⁻¹的有机肥对普陀樟苗木的株高、地径生长促进效果最佳;红楠苗木在3 g·株⁻¹的混合肥施肥条件下生长状况最好;舟山新木姜子在3 g·株⁻¹的混合肥施肥条件下,株高、地径生长表现最好,过量施肥会对3个树种苗木的株高、地径生长均产生抑制作用。

(2)3个树种养分含量在不同部位的分布规律较为相似,其中N元素和P元素主要积累在苗木的根部和叶片中,K元素主要积累在苗木的根部。3个树种在复合肥和混合肥处理下,叶片、茎部、根部的N元素含量均高于有机肥处理和CK,不同施肥处理下,3个树种叶片、茎部、根部的P元素含量没有显著差异,红楠、舟山新木姜子苗木叶片、茎部、根部的K元素含量与CK相比无显著差异,普陀樟苗木根部的K元素含量在各处理之间存在显著差异。

(3)土壤N含量对普陀樟、红楠、舟山新木姜子的株高、地径生长有显著影响,N元素过多积累不利于3个树种苗木的株高、地径生长,而P元素和K元素的含量对这3个树种苗木的生长影响并不显著。

参考文献:

- [1] 俞慈英,李修鹏,赵慈良,等. 普陀樟生物学特性与栽培技术[J]. 林业科学, 2008, 44(09): 65-71.
- [2] 李修鹏,赵慈良,俞慈英,等. 舟山新木姜子保存技术研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2009, 28(01): 81-85.
- [3] 王国明,赵慈良,陈叶平,等. 舟山群岛国家重点保护野生植物区系与分布特征[J]. 浙江林业科技, 2009, 29(03): 43-47.
- [4] 徐斌芬,王国明,陈斌,等. 舟山新木姜子和普陀樟容器育苗试验[J]. 林业科技开发, 2007(05): 71-73.
- [5] 李修鹏,俞慈英,汪成林,等. 普陀樟强化育苗技术[J]. 浙江林学院学报, 2009, 26(03): 384-388.
- [6] 费引海. 红楠的采种和繁育[J]. 浙江林业, 2004(07): 30-31.
- [7] 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(02): 117-123.
- [8] 林国祚,彭彦,谢耀坚. 我国苗木培育水肥管理研究进展[J]. 桉树科技, 2011, 28(01): 61-66.
- [9] 全国肥料和土壤调理剂标准化技术委员会. 黄腐酸原料及肥料术语: GB/T38072-2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [10] 张常书,左文. 黄腐酸的生物活性及应用研究[J]. 磷肥与复肥, 2018, 33(03): 21-23.
- [11] 高伟,李明悦,杨军,等. 黄腐酸钾不同用量对番茄产量、品质及土壤理化性质的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(33): 46-49.
- [12] 俞丹萍,孙萍,周坚,等. 黄腐酸钾作为基肥在葡萄上施用效果的研究[J]. 现代园艺, 2022(18): 1-3.
- [13] 刘世昌,任先顺,王子浩,等. 生化黄腐酸钾对玉米生长的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2022(09): 51-54.
- [14] 王潇潇,伍宏,陈思衡,等. 黄腐酸对水稻幼苗根系生长的影响及其与生长素的关系[J]. 西北植物学报, 2022, 42(05): 811-818.
- [15] 谢真铭,范芳娟. 黄腐酸钾有机肥对杨梅衰弱树复壮的作用[J]. 浙江农业科学, 2018, 59(10): 1779-1780, 1790.
- [16] 高云晓,庞云湘,毛培利,等. 黄腐酸有机肥对盐胁迫下刺槐幼苗生长的影响[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2019, 39(02): 36-43.
- [17] 郭星,谢飞,闫倩倩,等. 黄腐酸对白龙江干旱河谷5种苗木抗旱性的影响[J]. 草业学报, 2018, 27(08): 86-94.
- [18] 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(03): 358-366.
- [19] 徐嘉科,陈闻,王晶,等. 不同施肥方式对红楠生长及营养特性的影响[J]. 生态学杂志, 2015, 34(05): 1241-1245.
- [20] 陈闻,王晶,费行海,等. 不同施肥方式对普陀樟苗木生长及养分的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2015, 42(03): 381-386.
- [21] 费行海,徐嘉科,陈闻,等. 不同施肥处理对3种海岛树种苗木生长及造林效果的影响[J]. 山东林业科技, 2014, 44(03): 50-53.
- [22] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 12-13, 146-195, 302-315.
- [23] 伍杰,刘燕云,兰常军,等. 土壤pH值对康定木兰幼苗生长的影响[J]. 四川林业科技, 2017, 38(03): 88-92.
- [24] 唐晓杰,白玉文,张涛,等. 土壤类型与酸碱度对紫杉生长发育的影响[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2015, 16(04): 515-517.
- [25] 马庆华,王兴红,蔡京艳,等. 氮磷供应水平对野蔷薇生长和养分吸收的影响[J]. 新疆农业科学, 2022, 59(03): 609-616.
- [26] 叶可可,李庆梅,祝燕,等. 油松容器苗和裸根苗生长与造林效果对秋季施肥的响应[J/OL]. 南京林业大学学报(自然科学版). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1161.S.20220906.0906.002.html>.
- [27] 龙海燕,邓伦秀,徐超然,等. 氮磷钾配方施肥对贵州金花茶生长及根系形态的影响[J]. 贵州农业科学, 2022, 50(08): 25-33.
- [28] 林文欢,朱晓武,吴悦宏,等. 氮磷钾施肥配比对中华楠苗木生长的影响[J]. 林业与环境科学, 2021, 37(06): 142-147.