

不同指数施氮量对闽楠幼苗生长生理及养分积累的影响

王 晓¹, 王樱琳², 韦小丽¹, 吴高殷¹

(1. 贵州大学 林学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 河北地质大学 华信学院, 河北 石家庄 050700)

摘要: 【目的】确定闽楠 *Phoebe bournei* 幼苗培育的最适指数施氮量, 对丰富高质量闽楠苗木培育具有重要意义。【方法】采用盆栽试验方法, 测定 6 个水平指数施氮量 (0、1、2、3、4、5 g·株⁻¹) 处理下闽楠幼苗生长生理及养分积累状况。【结果】闽楠苗高、地径、叶面积、生物量、叶绿素质量分数以及根系活力随指数施氮量的增加先升高后降低, 3 g·株⁻¹ 时达到最大; 苗木氮、磷、钾素积累量在最高指数施氮量处理中最大; 苗木生物量、氮素质量分数、株含量以及施氮量之间的关系分析表明: 施氮量为 3~5 g·株⁻¹ 时, 幼苗养分吸收表现为奢侈消耗; 临界值法表明: 闽楠苗叶片氮钾的最适质量分数临界范围分别 16.88~20.58 和 9.78~11.38 mg·g⁻¹, 最适施氮量为 3~4 g·株⁻¹。【结论】综合闽楠苗生长生理以及养分积累表现, 建议闽楠苗期培育以指数施氮量 4 g·株⁻¹ 为宜。图 3 表 4 参 34

关键词: 森林培育学; 指数施肥; 闽楠; 氮素; 养分积累

中图分类号: S723.7 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2020)03-0514-08

Growth, physiology and nutrient accumulation of *Phoebe bournei* seedlings under different amount of exponential nitrogen fertilization

WANG Xiao¹, WANG Yinglin², WEI Xiaoli¹, WU Gaoyin¹

(1. Forestry College, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China; 2. Huaxin College, Hebei GEO University, Shijiazhuang 050700, Hebei, China)

Abstract: [Objective] The purpose of this study is to determine the optimal exponential nitrogen (N) application amount for *Phoebe bournei* seedling cultivation, and to enrich fertilization measures for cultivation of high-quality *P. bournei* seedlings. [Method] Growth, physiology and nutrient status of *P. bournei* seedlings treated with 6 levels of exponential N rate ranging from 0 to 5 g per seedling were examined by pot experiment. [Result] Seedling height, ground diameter, leaf area, biomass, chlorophyll content and root activity increased first and then decreased with the increase of exponential N application, and reached maximum at 3 g per seedling. Accumulation of N, phosphorus (P) and potassium (K) was the highest in the treatment with the highest N application rate. The relationship between biomass, N concentration, N content and N supply demonstrated that the nutrient uptake of *P. bournei* was characterized by luxury consumption in the range of 3–5 g per seedling. Critical value method indicated that the critical range of the optimal mass fraction of N and K in leaves was 16.88–20.58 mg·g⁻¹ and 9.78–11.38 mg·g⁻¹ respectively, and the optimal N application amount was 3–4 g per seedling. [Conclusion] Based on the growth, physiology and nutrient accumulation of seedlings, it is recommended that the application exponential N rate of 4 g per seedling should be adopted. [Ch, 3 fig. 4 tab. 34 ref.]

Key words: silviculture; exponential fertilization; *Phoebe bournei*; nitrogen; nutrient accumulation

收稿日期: 2019-04-09; 修回日期: 2019-12-12

基金项目: 贵州省高层次人才创新培养计划项目 ([2016] 5661); 贵州省林业厅项目 (黔林科合 [2010] 重大 02 号)

作者简介: 王晓, 从事森林苗木繁育研究。E-mail: 983971550@qq.com。通信作者: 韦小丽, 教授, 博士, 从事种苗繁育研究。E-mail: gdwxl-69@126.com

合理平衡施肥对于促进苗木生长具有重要意义，能够提高苗木对外界不良环境包括干旱、低温以及病害等的抵抗力^[1-4]。植物的稳态矿质营养理论是通过营养液栽培系统试验提出的，使植物生长速率与营养状态保持平衡^[5]。TIMMER 等^[6]在稳态矿质营养理论的应用研究基础上提出指数施肥。指数施肥是通过指数递增的养分添加方式适应植物在各生长阶段相对生长率的施肥方法，能够区分营养不足、营养充足以及奢侈消耗，并且能够通过诱导奢侈消耗提高苗木的营养储备^[7]。指数施肥的应用能够提高苗木质量，且成功应用于多种树种，例如黑云杉 *Picea mariana*^[8-9]、杉木 *Cunninghamia lanceolata*^[10]、西南桦 *Betula alnoides*^[11]、卢茨云杉 *Picea × lutzii*^[12]。闽楠 *Phoebe bournei* 为亚热带常绿阔叶树种，是国家重点保护的珍贵用材树种。培育优质苗木是闽楠人工林培育的物质基础，苗期营养管理是影响苗木质量的关键技术环节。王东光等^[13]研究表明：磷素供应量为 30 mg·株⁻¹ 最有利于闽楠苗木的生长及抗低温胁迫能力的提高。王艺等^[14]研究了缓释肥加载对闽楠容器苗生长及养分库构建的影响，结果表明：缓释肥加载有助于提高闽楠苗氮含量，且施肥量为 3.0 kg·m⁻² 时实现氮氧分库的最大积累量。但这些研究都局限于采用一种固定的施肥量、施肥时间去研究闽楠的养分需求，忽略了苗木异速生长的特性。不同时期苗木生长速度不同，其对养分的需求量也不相同，按苗木异速生长规律定期供应恰当的施肥量既满足了苗木需求，又能节约使用肥料。指数施肥是苗木稳态营养加载一种较为先进的施肥方式，指在苗木培育过程中，根据苗木生长对养分的需求规律，每次施肥量呈指数增加，提供植物养分的量同步于植物生长量，把肥料尽可能多地固定在苗木体内以形成养分库，保持苗木体内尽可能多的养分浓度，造林后苗木就会利用这一养分库促进根系和顶梢生长。苗期提高苗木氮含量能够促进造林后的早期生长，尤其是营养亏缺以及存在竞争的环境，因此苗期的氮素施用是苗木培育的重点^[15-16]。为此，本研究以闽楠 1 年生闽楠苗为研究材料，采用盆栽试验，设置不同的氮素供应水平开展指数施肥试验，以了解不同指数施氮量对闽楠苗的生长生理以及养分积累的影响，采用分析闽楠苗生物量、氮素质量分数、株含量以及施氮量之间的关系和临界值法确定本试验条件下的最适指数施氮量，以期为生产中按闽楠指数生长需求进行氮素供应，最大限度发挥肥料效应，提高苗木质量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究材料

供试闽楠苗为生长正常且均匀一致的 1 年生实生苗，苗高为 (13.8±0.5) cm，地径为 (2.09±0.08) mm。闽楠苗栽培基质为灭菌后的腐殖质、泥炭土按 1:1(质量比) 的混合基质，基质理化性质见表 1。供试肥料为普罗丹高浓度水溶性复合肥，其主要养分质量分数为氮 200.000 g·kg⁻¹，五氧化二磷 (P₂O₅) 200.000 g·kg⁻¹，氧化钾 (K₂O) 200.000 g·kg⁻¹，螯合铁 (Fe) 1.000 g·kg⁻¹，螯合锰 (Mn) 0.500 g·kg⁻¹，螯合锌 (Zn) 0.500 g·kg⁻¹，螯合铜 (Cu) 0.500 g·kg⁻¹，硼 (B) 0.200 g·kg⁻¹，钼 (Mo) 0.005 g·kg⁻¹，EDTA 螯合体 10.000 g·kg⁻¹。

表 1 供盆栽试验基质的主要理化性质

腐殖质:泥炭土	全氮/ (g·kg ⁻¹)	水解氮/ (mg·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	全钾/ (g·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	有机质/ (g·kg ⁻¹)	pH
1:1	1.0	1.5	62.8	69.4	2.0	5 076.4	336.4	4.2

1.2 研究方法

在贵州大学林学院苗圃采用盆栽法进行施肥试验。植苗容器为外口径 20 cm，深 15 cm 的塑料花盆，每盆装入 1 kg 腐殖质、泥炭 (1:1，质量比) 混合基质。为了防止水肥流失，花盆底部套有双层白色塑料袋。植苗时间为 3 月初，缓苗 4 周后开始施肥。为了减小边际效应，试验过程中，隔 2 周移动 1 次花盆。盆栽过程中浇水量根据基质最大持水量并视天气和苗木生长状况进行适当调整。

采用指数施肥模型来确定施肥量。指数施肥模型为 $N_T = N_S(e^{rT} - 1)$ 。其中： N_T 为需施养分总量， N_S 为施肥前苗木体内养分含量， T 为施肥总次数， r 为相对添加速率，公式的具体意义参照 CHEN 等^[17]和 USCOLA 等^[18]的研究。

试验开始前，随机抽取 20 株幼苗，确定幼苗初始生物量 (1.281 g·株⁻¹) 及初始氮 (5.165 g·kg⁻¹)、磷

($0.810 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)、钾 ($4.327 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 质量分数。设置施氮量 0、1、2、3、4、5 $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$ 共 6 个处理, 分别用 ck、 N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 、 N_5 表示, 每个处理 30 株苗, 苗木移栽后第 4 周开始施肥, 每周 1 次, 共 12 次。氮素指数施肥量见表 2。

表 2 闽楠指数施肥方案

Table 2 Schedule of fertilizer additions by seedling age for *P. bournei*

处理	施氮量/($\text{g} \cdot \text{株}^{-1} \cdot \text{周}^{-1}$)												总量/($\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$)
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15周	
ck	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N_1	0.003	0.005	0.008	0.012	0.018	0.028	0.042	0.077	0.086	0.149	0.235	0.336	1
N_2	0.004	0.006	0.010	0.017	0.027	0.044	0.070	0.113	0.182	0.293	0.472	0.760	2
N_3	0.004	0.007	0.019	0.014	0.034	0.056	0.094	0.156	0.260	0.433	0.721	1.201	3
N_4	0.005	0.008	0.014	0.023	0.040	0.067	0.115	0.196	0.334	0.570	0.972	1.657	4
N_5	0.005	0.008	0.015	0.026	0.044	0.077	0.134	0.233	0.405	0.704	1.223	2.125	5

1.3 指标测定

试验期间, 分别于移苗第 6、9、12、15 周末尾, 测定全株养分含量, 试验结束时 (即移苗后第 15 周末尾), 测定苗高、地径、叶面积、生物量、叶绿素质量分数、根系活力及叶片养分质量分数。

生物量及全株养分含量测定: 每个处理随机取 3 株苗木, 用游标卡尺测量地径, 精度 0.01 mm; 钢卷尺测量苗高, 精度 0.1 cm; 将苗木用自来水洗净晾干后置于烘箱中 105 $^{\circ}\text{C}$ 杀青 20 min, 然后 75 $^{\circ}\text{C}$ 下烘 48 h 至恒量后称干质量, 精度 0.001 g; 然后将每处理苗的地上和地下部分干质量充分混合, 研磨后分别采用扩散法、钼锑抗比色法和火焰光度计法测定全株全氮、全磷、全钾质量分数, 详见 LY/T 1270-1999《森林植物与森林枯枝落叶层全硅、铁、铝、钙、镁、钾、钠、磷、硫、锰、铜、锌的测定》。

叶绿素质量分数及根系活力测定: 每个处理随机抽取 3 株苗木, 每株摘取第 3、4 片初展叶, 用去离子水洗净晾干, 用体积分数为 80% 丙酮与 95% 乙醇 1:1 混合浸提叶片, 采用紫外-可见分光光度计测定叶绿素质量分数; 取每株苗木根部, 去离子水洗净, 采用改良 TCC 法测定苗木根系活力^[19]。

叶片养分质量分数测定: 每个处理随机取 3 株苗木, 每株摘取第 3、4 片初展叶, 用去离子水洗净晾干后于 75 $^{\circ}\text{C}$ 下烘 48 h 至恒量后研磨成粉, 测定叶片全氮、全磷、全钾质量分数, 测定方法同全株养分测定。

1.4 数据统计与分析

数据采用 Excel 2007 处理, 采用 SPSS 22.0 进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同指数施氮量对闽楠生长指标的影响

施肥促进闽楠苗高、地径、叶面积的生长以及生物量的积累 (表 3)。与对照相比, 5 个施肥处理闽

表 3 不同处理闽楠苗生长指标

Table 3 Growth indices of *P. bournei* seedlings in different treatments

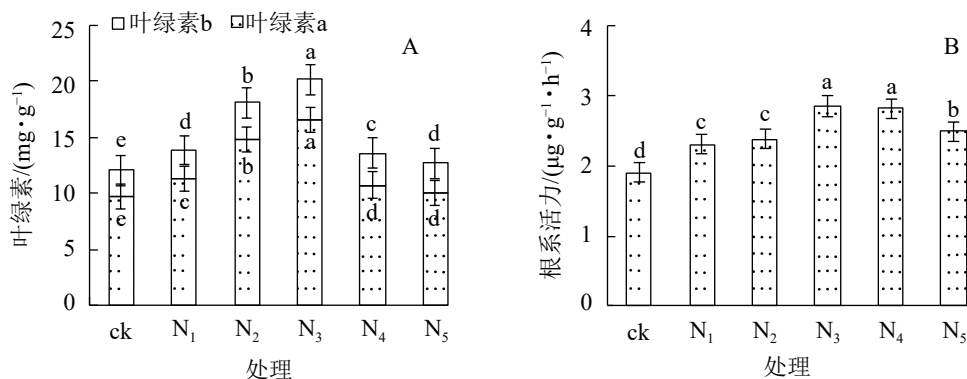
处理	苗高/cm	地径/mm	叶面积/ cm^2	生物量/g	根冠比
ck	18.20±0.78 c	2.880±0.091 e	140.83±6.70 e	1.923±0.011 f	2.200±0.162 a
N_1	42.60±0.74 b	4.690±0.075 d	424.87±12.00 bc	5.287±0.006 e	1.150±0.018 b
N_2	44.60±0.96 b	4.990±0.044 c	472.22±28.50 b	6.355±0.009 d	1.060±0.031 bc
N_3	46.90±0.64 a	5.430±0.050 a	657.39±38.70 a	7.114±0.010 a	0.940±0.042 c
N_4	45.10±0.32 ab	5.240±0.066 b	380.88±22.90 c	6.758±0.010 b	0.880±0.043 cd
N_5	43.70±0.68 b	5.070±0.098 c	287.67±4.40 d	6.699±0.010 c	0.820±0.023 d

说明: 数据为平均值±标准差。同列不同字母表示同一指标不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)

楠苗苗高、地径、叶面积、生物量分别增加 134.1%~157.7%、62.9%~88.5%、104.3%~366.8%、174.9%~269.9%。不同施肥处理之间, 各生长指标随指数施氮量的增加均呈现先增加后降低的趋势, N_3 处理苗高、地径、叶面积、生物量均最大, 且地径、叶面积、生物量与其他施肥处理差异显著 ($P<0.05$)。不同处理闽楠苗根冠比随指数施氮量的增加而减小。

2.2 不同指数施氮量对叶绿素质量分数及根系活力的影响

施肥可提高闽楠苗叶绿素 a 和叶绿素 b 质量分数, 不同指数施肥效果不同 (图 1A)。叶绿素 a、叶绿素 b 以及总叶绿素质量分数从大到小的顺序为 N_3 、 N_2 、 N_4 、 N_5 、 N_1 , N_3 处理叶绿素 a 与叶绿素 b 质量分数分别为 16.532 和 $3.641 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 与其他处理差异显著 ($P<0.05$)。最低与最高施氮量处理之间叶绿素 b 质量分数差异不显著 ($P>0.05$)。施氮量超过 $3 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$, 叶绿素 a 和叶绿素 b 质量分数下降明显, 低于 N_1 、 N_2 处理。不同指数施氮量处理闽楠苗根系活力从大到小依次为 N_3 、 N_4 、 N_5 、 N_2 、 N_1 (图 1B), 其中, N_3 处理闽楠苗根系活力最大, 比 N_4 处理高 1.33%, 两者差异不显著 ($P>0.05$)。 N_1 、 N_2 处理闽楠苗根系活力较低, 但两者差异不显著 ($P>0.05$)。



不同字母表示同一指标不同处理间差异显著 ($P<0.05$)

图 1 不同处理闽楠苗叶绿素质量分数及根系活力

Figure 1 Chlorophyll content and root activity of *P. bournei* seedlings in different treatments

2.3 指数施肥对闽楠植株养分积累的影响

施肥促进闽楠苗生物量及养分积累, 不同处理表现出的积累规律不同 (表 4)。移苗 12 周之前, 各处理闽楠苗生物量随指数施氮量的增加而增加; 12 周之后, N_3 处理生物量增加速率高于其他处理, 且在 15 周苗木生物量最大, 与 N_4 、 N_5 处理差异不显著。氮质量分数随指数施氮量的增加及施肥次数的增加而增加, N_5 处理氮质量分数在 15 周最高, 显著高于其他处理 ($P<0.05$)。随指数施氮量及施肥次数的增加, 闽楠苗磷质量分数及磷株含量均呈增加趋势, N_5 处理闽楠苗磷质量分数在整个施肥阶段均高于其他处理。钾素积累在移苗 12 周前与磷素积累规律一致, 移苗 12 周后 N_5 处理闽楠苗磷株含量增加速率明显降低, 15 周之后钾株含量低于 N_3 及 N_4 处理, 三者差异显著 ($P<0.05$)。

2.4 氮素供应与闽楠苗生物量及氮素积累之间的关系

由图 2 可以看出: 氮素供应为 $0\sim3 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 时, 闽楠苗生物量、氮质量分数、氮株含量随氮素供应量的增加而增加, 营养状况表现为养分亏缺。氮素供应增加至 $3 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 时, 闽楠苗生物量最大, 为 $7.114 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$, 养分供应能够满足生长需求。氮素供应超过 $3 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 时, 闽楠苗生物量未发生显著变化, 但氮株含量仍增加且达差异显著水平 ($P<0.05$), 表现为奢侈消耗状态。养分供应过剩产生毒害通常表现为生物量及养分质量分数的减少^[20]。试验未产生养分毒害现象。

2.5 临界值法分析

绘制闽楠苗叶片氮、磷、钾质量分数及氮磷质量分数比值与生物量的散点图, 添加趋势线可以看出两者呈抛物线关系 (图 3)。以抛物线方程中最大生物量的 90% 相对应的 2 个养分质量分数作为临界值, 两者之间的值为最适范围^[11], 则闽楠苗叶片氮、钾质量分数及氮磷质量分数比值临界值分别为 16.88 、 $9.78 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 1.86 , 最适临界范围分别 $16.88\sim20.58$ 、 $9.78\sim11.38 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $1.86\sim1.96$ 。叶片磷质量分数

表4 不同处理闽楠苗养分积累情况

Table 4 Nutrient accumulation of *P. bournei* seedlings in different treatments

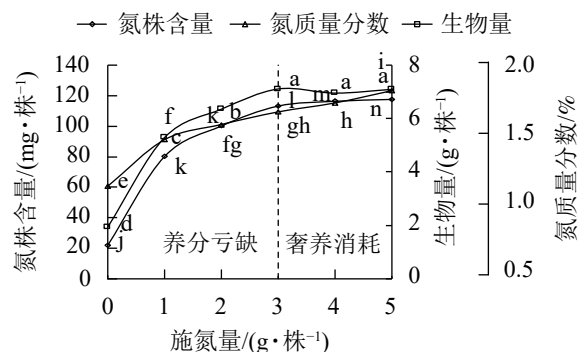
移栽后周数/周	处理	生物量/(g·株 ⁻¹)	养分质量分数/(mg·g ⁻¹)			养分株含量/(mg·株 ⁻¹)		
			氮	磷	钾	氮	磷	钾
6	ck	1.43±0.01 d	8.4±0.2 d	0.47±0.07 c	0.64±0.01 f	12.05±0.44 f	0.67±0.10 c	9.15±0.09 f
	N ₁	1.59±0.02 c	8.8±0.1 d	0.57±0.06 b	0.79±0.01 e	14.03±0.17 e	0.91±0.09 b	12.54±0.09 e
	N ₂	1.64±0.01 b	11.1±0.2 c	0.62±0.09 b	0.84±0.01 d	17.33±0.30 d	1.01±0.14 b	13.78±0.10 d
	N ₃	1.63±0.00 b	11.1±0.2 c	0.64±0.04 b	0.94±0.01 c	17.89±0.28 c	1.04±0.07 b	15.34±0.07 c
	N ₄	1.69±0.02 a	11.2±0.4 b	0.65±0.03 b	0.98±0.01 b	20.64±0.07 b	1.10±0.05 b	16.58±0.11 b
	N ₅	1.71±0.01 a	11.4±0.3 a	0.74±0.04 a	1.00±0.02 a	24.57±0.10 a	1.26±0.07 a	17.00±0.09 a
9	ck	1.55±0.01 e	9.8±0.1 e	0.57±0.05 e	0.68±0.01 f	14.22±0.14 f	0.88±0.07 e	10.48±0.14 f
	N ₁	1.95±0.01 d	13.0±0.3 d	0.64±0.03 d	0.82±0.01 e	25.39±0.12 e	1.25±0.04 d	15.97±0.10 e
	N ₂	2.23±0.01 b	13.2±0.1 d	0.72±0.05 c	0.89±0.01 d	29.41±0.16 d	1.60±0.07 c	19.89±0.15 d
	N ₃	2.12±0.01 c	13.8±0.1 c	0.76±0.03 c	0.95±0.01 c	29.23±0.10 c	1.61±0.06 c	20.22±0.12 c
	N ₄	2.24±0.01 b	14.2±0.1 b	0.82±0.06 b	1.06±0.01 b	31.86±0.11 b	1.84±0.10 b	23.81±0.12 b
	N ₅	2.32±0.01 a	14.8±0.1 a	0.88±0.04 a	1.12±0.01 a	34.38±0.10 a	2.04±0.06 a	26.02±0.14 a
12	ck	1.77±0.01 f	10.6±0.1 c	0.66±0.06 e	0.76±0.01 f	1.88±0.01 f	1.17±0.10 f	13.42±0.07 f
	N ₁	4.22±0.01 e	15.0±0.8 b	0.74±0.02 d	0.90±0.01 e	61.58±0.32 e	3.12±0.09 e	37.78±0.04 e
	N ₂	4.57±0.01 d	15.2±0.1 b	0.82±0.02 c	1.00±0.01 d	69.51±0.32 d	3.75±0.07 d	45.91±0.15 d
	N ₃	4.61±0.01 c	15.6±0.1 b	0.86±0.03 c	1.07±0.04 c	71.88±0.29 c	3.96±0.11 c	49.16±0.11 c
	N ₄	4.93±0.01 b	16.6±0.2 a	0.92±0.01 b	1.12±0.01 b	81.77±0.11 b	4.53±0.06 b	55.31±0.10 b
	N ₅	5.08±0.01 a	17.2±0.3 a	0.98±0.03 a	1.18±0.01 a	87.36±0.07 a	4.98±0.12 a	60.15±0.08 a
15	ck	1.92±0.01 d	11.4±0.2 e	0.72±0.04 f	0.78±0.01 e	21.92±0.32 e	1.38±0.08 f	14.94±0.09 f
	N ₁	5.29±0.01 c	15.2±0.2 d	0.78±0.01 e	1.01±0.03 d	80.36±0.14 d	4.12±0.04 e	53.14±0.07 e
	N ₂	6.36±0.01 b	15.8±0.4 cd	0.88±0.02 d	1.07±0.03 c	100.41±0.08 c	5.59±0.10 d	67.72±0.04 d
	N ₃	7.11±0.01 a	16.4±0.6 bc	0.94±0.01 c	1.10±0.04 c	116.67±0.10 b	6.69±0.07 c	78.08±0.10 b
	N ₄	6.96±0.01 a	16.8±0.4 b	1.04±0.02 b	1.15±0.03 b	116.89±0.16 b	7.03±0.10 b	77.63±0.08 c
	N ₅	7.10±0.01 a	17.6±0.2 a	1.26±0.01 a	1.23±0.02 a	124.94±0.11 a	8.44±0.07 a	82.16±0.09 a

说明：数据为平均值±标准差。同列不同字母表示同一指标不同处理间差异显著($P<0.05$)

虽与生物量呈抛物线关系，但是从图3B可以看出：磷质量分数与生物量关系图难以准确估算临界值和最适质量分数范围，不适宜用于确定适宜施氮量。因此，根据叶氮和钾质量分数以及氮磷质量分数比值的最适范围，确定闽楠幼苗的适宜施氮量范围分别是2~4、2~4和3~4 g·株⁻¹，综合三者最适质量分数范围得出，闽楠幼苗的最适氮素量为3~4 g·株⁻¹。

3 讨论与结论

苗木培育中养分供应方式对于苗木形态、生理、养分状况有重要影响，进而也影响培育苗木的质量及出圃后的生长表现。苗木生长不同阶段需肥量不同，供肥太快太多，会造成土壤养分因来不及被植物吸收而流失，相反如果供肥速度太慢太少则不能满足植物的生长需要。通过合理的施肥手段为植物提供充足的养分，创造良好的营养环境，提高植物营养效率，最终提高植物产量是



不同字母(生物量: a~d, 氮素质量分数: e~i, 氮株含量: j~n)表示差异显著($P<0.05$)

图2 施氮量与闽楠苗生物量、氮素质量分数、氮株含量之间的关系

Figure 2 Responses of biomass, N concentration and N content of *P. bournei* seedlings to increasing N supply

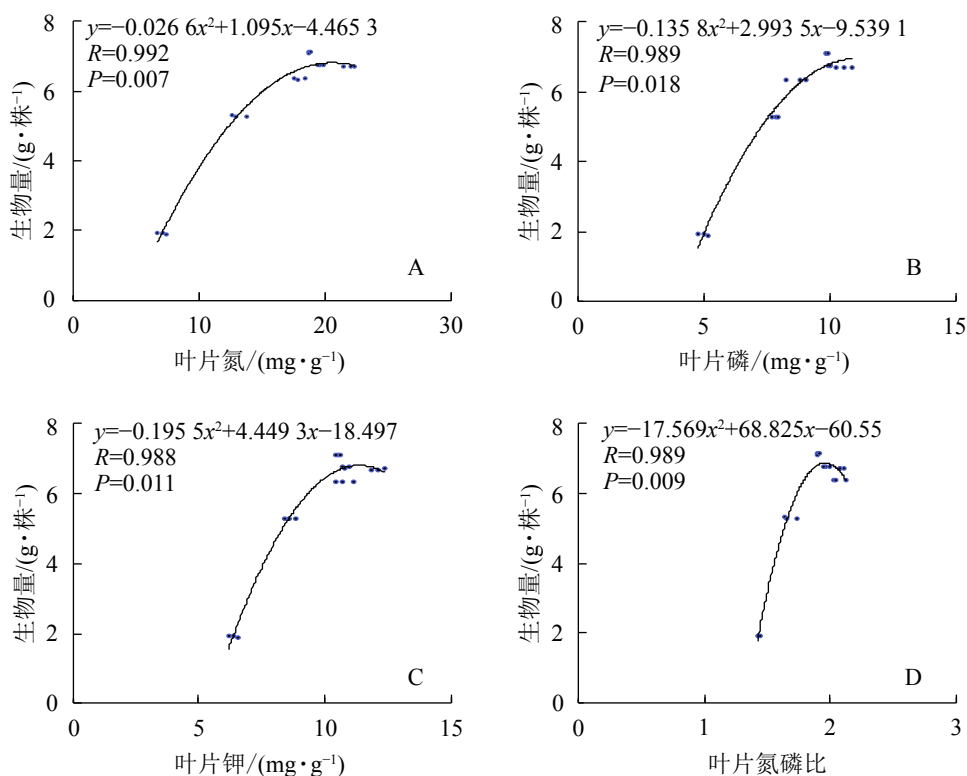


图 3 闽楠苗叶片养分质量分数与生物量之间的抛物线关系

Figure 3 Parabolic relationship of leaf nutrient concentration and biomass of *P. bournei* seedlings

植物营养学研究的目的之一^[21]。指数施肥以适应苗木养分需求规律的方式为苗木生长提供养分,一定程度上有利于苗木生长及质量提高。POKHAREL 等^[22]的研究中指数施肥较常规施肥方式显著提高苗木生物量及氮素质量分数。本试验以指数施肥方式施用氮素,探讨对闽楠苗生长生理以及养分积累的影响。结果表明:不同指数施氮量对闽楠苗生长的影响表现为随施氮量的增加各生长指标先增加后降低,以 $3 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 生长表现最好,规律与叶绿素质量分数与根系活力表现一致。植物对氮、磷、钾的吸收会随供氮量的增加而增加^[23]。试验中闽楠苗氮、磷、钾质量分数在整个施肥阶段随施氮量的增加而增加,与 ZHAO 等^[24]、刘欢等^[25]的研究结果一致。

植物氮素奢侈消耗表现为生物量不变,氮素含量增加^[26-27]。对西南桦 *Betula alnoides* 的指数施肥研究表明:施氮量为 $100 \sim 400 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$ 时表现为奢侈消耗^[17]。本试验奢侈消耗表现在施氮量 $3 \sim 5 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 。当施肥量超过奢侈消耗所需养分的最大值时,通常会造成养分毒害而抑制植物生长。红橡木 *Quercus rubra*^[28] 施氮量超过 $100 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$,黑云杉 *Picea mariana*^[20] 施氮量超过 $64 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$ 会造成毒害。本试验中施氮量最高处理未出现生物量下降现象,未造成养分毒害。VILLAR-SALVADOR 等^[29]对橡树 *Quercus coccifera* 和 *Q. faginea* 的研究也未观察到养分毒害现象,原因可能是包括闽楠在内的这些植物具有较其他植物更高的养分需求。

林木叶片的养分含量与林木生长状况密切相关,是林木营养诊断的主要指标^[30-31]。临界值法是植物养分诊断中分析叶片养分浓度的常用方法,容易受环境条件、取样方法的影响而使得某些元素的临界浓度无法诊断出。本试验中叶片氮钾质量分数比、磷钾质量分数比与生物量不呈抛物线关系,磷质量分数与生物量虽呈抛物线关系,但试验范围内未达到最大值,故不适合计算临界质量分数值以及最适施氮量。尾叶桉 *Eucalyptus urophylla* 的营养诊断研究中由于试验环境影响,钾的临界浓度未诊断出^[32]。综合氮、钾临界质量分数以及氮磷质量分数比临界值,闽楠适宜施氮量为 $3 \sim 4 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 。氮素供应与生物量、养分质量分数之间的关系分析表明:此施氮量范围闽楠苗表现为养分的奢侈消耗。造林后,苗木的成活和生长由苗木质量和造林地条件共同决定^[29]。造林初期,由于苗木根系吸收能力较弱,其所需要的养分主要依赖储存器官养分内转移,因此,处于奢侈状态的苗木有较强的抗性和较高成活率^[33-34]。闽楠苗生长生理指标在 $3 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 处理中表现最好,但养分积累表现以 $4 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 优于 $3 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$,且部分生长生理指

标2个施肥量之间差异不显著,因此,综合闽楠生长生理以及养分积累情况,以指数施氮量 $4\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 更有利于苗木培育过程中的养分储备以及出圃后的生长。

4 参考文献

- [1] ROBINSON D. The responses of plants to non-uniform supplies of nutrients [J]. *New Phytol*, 1994, **127**(4): 635 – 674.
- [2] HEISKANEN J, LAHTI M, LUORANEN J, *et al.* Nutrient loading has a transitory effect on the nitrogen status and growth of outplanted Norway spruce seedlings [J]. *Silv Fenn*, 2009, **43**(2): 249 – 260.
- [3] DUAN Jie, XU Chengyang, JACOBS D F, *et al.* Exponential nutrient loading shortens the cultural period of *Larix olgensis* seedlings [J]. *Scand J For Res*, 2013, **28**(5): 409 – 418.
- [4] WANG Jiaxi, LI Guolei, PINTO J R, *et al.* Both nursery and field performance determine suitable nitrogen supply of nursery-grown, exponentially fertilized Chinese pine [J]. *Silv Fenn*, 2015, **49**(3): 1295 – 1307.
- [5] INGESTAD T. Relative addition rate and external concentration: driving variables used in plant nutrition research [J]. *Plant Cell Environ*, 1982, **5**(6): 443 – 453.
- [6] TIMMER V R, ARMSTRONG G. Growth and nutrition of containerized *Pinus resinosa* at exponentially increasing nutrient additions [J]. *Can J For Res*, 1987, **17**(7): 644 – 647.
- [7] MALIK V, TIMMER V R. Biomass partitioning and nitrogen retranslocation in black spruce seedlings on competitive mixedwood sites: a bioassay study [J]. *Can J For Res*, 1998, **28**(2): 206 – 215.
- [8] MALIK V, TIMMER V R. Growth, nutrient dynamics, and interspecific competition of nutrient-loaded black spruce seedlings on a boreal mixedwood site [J]. *Can J For Res*, 1996, **26**(9): 1651 – 1659.
- [9] IMO M, TIMMER V R. Growth and nitrogen retranslocation of nutrient loaded *Picea mariana* seedlings planted on boreal mixed wood sites [J]. *Can J For Res*, 2001, **31**(8): 1357 – 1366.
- [10] XU Xinjian, TIMMER V R. Growth and nitrogen nutrition of Chinese fir seedlings exposed to nutrient loading and fertilization [J]. *Plant Soil*, 1999, **216**(1/2): 83 – 91.
- [11] 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.
CHEN Lin, ZENG Jie, XU Daping, *et al.* Effects of exponential nitrogen loading on growth and foliar nutrient status of *Betula alnoides* seedlings [J]. *Sci Silv Sin*, 2010, **46**(5): 35 – 40.
- [12] JONSDOTTIR R J, SIGURDSSON B D, LINDSTRÖM A. Effects of nutrient loading and fertilization at planting on growth and nutrient status of Lutz spruce (*Picea × lutzii*) seedlings during the first growing season in Iceland [J]. *Scand J For Res*, 2013, **28**(7): 631 – 641.
- [13] 王东光, 杨锦昌, 李荣生, 等. 不同磷素供给闽楠苗木对自然低温的生理响应[J]. *华南农业大学学报*, 2016, **37**(2): 101 – 106.
WANG Dongguang, YANG Jinchang, LI Rongsheng, *et al.* Physiological response of *Phoebe bournei* seedlings with different phosphorus supply levels to natural low temperature [J]. *J South Chin Agric Univ*, 2016, **37**(2): 101 – 106.
- [14] 王艺, 王秀花, 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*, 2013, **49**(12): 57 – 63.
WANG Yi, WANG Xiuhua, WU Xiaolin, *et al.* Effects of slow-release fertilizer loading on growth and construction of nutrients reserves of *Phoebe chekiangensis* and *Phoebe bournei* container seedlings [J]. *Sci Silv Sin*, 2013, **49**(12): 57 – 63.
- [15] RYTTER L, ERICSSON T, RYTTER R M. Effects of demand-driven fertilization on nutrient use, root: plant ratio and field performance of *Betula pendula* and *Picea abies* [J]. *Scand J For Res*, 2003, **18**(5): 401 – 415.
- [16] RIKALA R, HEISKANEN J, LAHTI M. Autumn fertilization in the nursery affects growth of *Picea abies* container seedlings after transplanting [J]. *Scand J For Res*, 2004, **19**(5): 409 – 414.
- [17] CHEN Lin, WANG Chunsheng, DELL B, *et al.* Growth and nutrient dynamics of *Betula alnoides* seedlings under exponential fertilization [J]. *J For Res*, 2018, **29**(1): 111 – 119.
- [18] USCOLA M, SALIFU K F, OLIET J A, *et al.* An exponential fertilization dose-response model to promote restoration of the mediterranean oak *Quercus ilex* [J]. *New For*, 2015, **46**(5/6): 795 – 812.
- [19] 李冠喜, 吴小芹, 叶建仁. 多噬伯克霍尔德氏菌 WS-FJ9 对杨树养分代谢及根系活力的影响[J]. *江西农业大学学报*,

- 2014, **36**(3): 531 – 535.
- LI Guanxi, WU Xiaoqin, YE Jianren. Effects of *Burkholderia multivorans* WS-FJ9 on nutrient metabolism and root activity of poplar [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2014, **36**(3): 531 – 535.
- [20] SALIFU K F, TIMMER V R. Optimizing nitrogen loading of *Picea mariana* seedlings during nursery culture [J]. *Can J For Res*, 2003, **33**(7): 1287 – 1294.
- [21] 陆景陵. 植物营养学: 上册[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003.
- [22] POKHAREL P, KWAK J H, CHANG S X. Growth and nitrogen uptake of jack pine seedlings in response to exponential fertilization and weed control in reclaimed soil [J]. *Biol Fert Soil*, 2017, **53**(6): 701 – 713.
- [23] 李伶俐, 房卫平, 谢德意, 等. 施氮量对杂交棉干物质积累、分配和氮磷钾吸收、分配与利用的影响[J]. *棉花学报*, 2010, **22**(4): 347 – 353.
- LI Lingli, FANG Weiping, XIE Deyi, *et al.* Effects of application rate on dry matter accumulation and N, P, K uptake and distribution in different organs and utilization of hybrid cotton under high-yield cultivated condition [J]. *Cotton Sci*, 2010, **22**(4): 347 – 353.
- [24] ZHAO Yan, WANG Hui, LI Jiyue, *et al.* Late-season fluxes of ammonium and nitrate in roots of two poplar clones pre-treated with nutrient addition [J]. *Int J Agric Biol*, 2017, **19**(6): 1525 – 1534.
- [25] 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.
- LIU Huan, WANG Chaoqi, WU Jiasen, *et al.* Growth and N accumulation in seedlings of *Cunninghamia lanceolata* clones with N exponential fertilization [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2017, **34**(3): 459 – 464.
- [26] TIMMER V R. Exponential nutrient loading: a new fertilization technique to improve seedling performance on competitive sites [J]. *New For*, 1997, **13**(1): 279 – 299.
- [27] BIRGE Z K D, SALIFU K F, JACOBS D F. Modified exponential nitrogen loading to promote morphological quality and nutrient storage of bareroot-cultured *Quercus rubra* and *Quercus alba* seedlings [J]. *Scand J For Res*, 2006, **21**(4): 306 – 316.
- [28] SALIFU K F, JACOBS D F. Characterizing fertility targets and multi-element interactions in nursery culture of *Quercus rubra* seedlings [J]. *Ann For Sci*, 2006, **63**(3): 231 – 237.
- [29] VILLAR-SALVADOR P, PEÑUELAS J L, NICOLÁS-PERAGÓN J L, *et al.* Is nitrogen fertilization in the nursery a suitable tool for enhancing the performance of Mediterranean oak plantations? [J]. *New For*, 2013, **44**(5): 733 – 751.
- [30] LIU Fude, YANG Wenjie, WANG Zhongsheng, *et al.* Plant size effects on the relationships among specific leaf area, leaf nutrient content, and photosynthetic capacity in tropical woody species [J]. *Acta Oecol*, 2010, **36**(2): 149 – 159.
- [31] QUIÑONES A, SOLER E, LEGAZ F. Determination of foliar sampling conditions and standard leaf nutrient levels to assess mineral status of loquat tree [J]. *J Plant Plant Nut*, 2013, **36**(2): 284 – 298.
- [32] 李淑仪, 林书蓉, 廖观荣, 等. 桉树营养状况与叶片营养诊断研究[J]. *林业科学*, 1996, **32**(6): 481 – 490.
- LI Shuyi, LIN Shurong, LIAO Guanrong, *et al.* The nutrition status and foliar nutritional diagnosis of *Eucalyptus* [J]. *Sci Silv Sin*, 1996, **32**(6): 481 – 490.
- [33] OLIET J, SALAZAR J M, VILLAR R, *et al.* Fall fertilization of Holm oak affects N and P dynamics, root growth potential, and post-planting phenology and growth [J]. *Ann For Sci*, 2011, **68**(3): 647 – 656.
- [34] van den DRIESCHE R. Changes in drought resistance and root growth capacity of container seedlings in response to nursery drought, nitrogen, and potassium treatments [J]. *Can J For Res*, 1992, **22**(5): 740 – 749.