

氮磷钾钙配施对望天树幼苗生长及生理特性的影响

李 婷,刘 莉,武志伟,黄松殿*

(广西壮族自治区南宁良凤江国家森林公园,广西 南宁 530031)

摘 要:探讨不同 N、P、K、Ca 配施处理对望天树幼苗生长及生理特性的影响,并根据其生长及生理表现筛选适宜的配施处理,旨在为望天树壮苗培育提供参考依据。以 1 年生望天树幼苗为试验材料,采用 L16(4⁴) 正交试验设计方法。结果表明,不同配施处理对望天树幼苗生长及生理指标影响达到极显著差异水平($P<0.01$),生长表现最优处理是 N₂P₂K₄Ca₁ 和 N₃P₄K₂Ca₁,生理指标表现最优处理是 N₃P₂K₁Ca₂ 和 N₃P₄K₂Ca₁。相关性分析表明望天树苗高与叶片叶绿素、可溶性糖和可溶性蛋白质含量等生理指标呈极显著正相关,与丙二醛含量呈极显著负相关,地径仅与叶绿素含量呈显著正相关关系。处理 7(100 mg N+20 mg P+80 mg K)、处理 12(200 mg N+40 mg P+20 mg K)对望天树幼苗生长的促进作用最大,处理 11(200 mg N+20 mg P+50 mg Ca)和处理 12(200 mg N+40 mg P+20 mg K)配施下生理特性指标表现最好;N 是望天树幼苗生长的必须因子,P 和 K 对促进苗木地径生长作用显著,适量 Ca 有助于提高望天树幼苗生理活性,超过 100 mg 则导致生理胁迫。

关键词:望天树;配方施肥;幼苗;生理特性

中图分类号:S723.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2020)06-0110-06

Effects of Combined Application of Nitrogen, Phosphorus, Potassium, and Calcium on the Growth and Physiological Characteristics of *Parashorea chinensis* Seedlings

LI Ting, LIU Li, WU Zhi-wei, HUANG Song-dian*

(Liangfengjiang National Forest Park, Nanning 530031, Guangxi, China)

Abstract: To explore the effects of combined application of N, P, K, and Ca on the growth and physiological characteristics of *Parashorea chinensis* seedlings to screen out the optimal application formula, to provide a technical reference for the seedling cultivation. One-year-old *P. chinensis* seedlings were used as materials, an orthogonal experiment with the design of L16 (4⁴) was adopted. Extremely significant differences ($P<0.01$) in the seedling growth and physiological characteristics were found among different combinations. Treatments N₂P₂K₄Ca₁ and N₃P₄K₂Ca₁ were favorable to seedling growth, and N₃P₂K₁Ca₂ and N₃P₄K₂Ca₁ were beneficial for physiological characteristics. The growth of the seedling height was most significantly and positively correlated with the contents of chlorophyll, soluble sugar, soluble protein in leaves, and most significantly and negatively correlated with malondialdehyde content. Significantly positive correlation was also found between the growth of ground diameter and chlorophyll content. Treatment No. 7 (100 mg N+20 mg P+80 mg K) and treatment No. 12 (200 mg N+40 mg P+20 mg K) were the best combinations for the seedling growth, the treatment No. 11 (200 mg N+20 mg P+50 mg Ca) and No. 12 (200 mg N+40 mg P+20 mg K) were best to physiological characteristics. Nitrogen was the essential factor for seedling growth, while P and K were beneficial to the growth of ground diameter. The addition of proper a-

收稿日期:2020-01-08 修回日期:2020-05-13

基金项目:广西林业科技项目(桂林科字〔2014〕第10号)。

作者简介:李 婷,硕士在读,工程师。研究方向:珍贵树种种苗繁育与人工林培育。E-mail:361276061@qq.com

*通信作者:黄松殿,高级工程师。研究方向:种苗繁育与人工林高效栽培技术。E-mail:461454946@qq.com

mount of calcium could promote the physiology activity of the seedlings, but excessive calcium may lead to stress.

Key words: *Parashorea chinensis*; combination fertilization; seedlings; physiological characteristics

望天树(*Parashorea chinensis*)是龙脑香科柳安属高大常绿乔木,国家一级重点保护珍稀濒危植物,其树干通直圆满、材质坚硬、耐腐蚀性强、不易变形、加工性能良好,是优良的工业用材珍贵树种,我国进口木材之一,具有很大的发展潜力^[1]。目前,关于望天树的研究,大多集中在天然林群落和种群特征^[2]、天壤林分土壤养分变化^[3]、生长规律^[4]以及种子萌发处理^[5-6]、苗木分级标准^[7]、育苗方式和苗期遮阴^[8-10]等方面,关于望天树苗木施肥技术报道较少,学者庞圣江^[11]提出望天树容器苗生长对基质配比和施加缓释肥较敏感,采用红壤土+松树皮+碳化树皮(体积比 6:2:2),并适用 2.5 kg·m⁻³ 缓释肥是其容器育苗的最优方案,但是,关于望天树配方施肥技术尚未见公开报道。

苗期施肥是林木培育的重要技术环节之一,对促进林木生长、提高产量和品质等发挥重要作用^[12-13]。自植物稳态矿质营养理论的提出^[14],配方施肥技术逐渐成为人们关注的焦点。梁坤南等^[15]开展柚木(*Tectona grandis*)苗期施肥因素,提出每株配施 7.5 g P+20Gz(沸石)+4 g N+2 g Mg 能显著提高 7 个月生的柚木生长及干物质质量;张斌等^[16]提出 N、P、K 配施能显著提高仿栗(*Sloanea hemsleyana*)叶片的叶绿素含量、光合能力以及保护酶活性,增强植株抗逆性;赵嫦妮等^[17]发现不同 N、P、K 配比施肥对赤皮青冈(*Cyclobalanopsis gilva*)苗木生长存在显著差异,其中 5 g 尿素+3 g 过磷酸钙+5 g 氯化钾的配方促进作用最大。但是,不同树种、苗龄等对营养元素的响应有所不同,因此,有必要针对望天树开展其苗期配方施肥研究。有学者提出望天树喜 Ca,在含有较高有机质和钙质的土壤中生长较好^[18]。为此,本研究采用 1 年生望天树幼苗开展苗期 N、P、K、Ca 配施试验,探讨其生长及生理因子对不同 N、P、K、Ca 配施处理的响应特征,以期为望天树壮苗培育提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于南宁市郊的南宁良凤江国家森林公园园种苗繁育场圃内,地处亚热带南缘季风气候,适宜望天树苗木生长,年均气温 21.6℃,1 月均温 12.8℃,7 月均温 28℃,极端高温 40℃,极端低温 -1.5℃,≥10℃ 的年积温 7 600℃,年均降雨量

1 280 mm。

1.2 试验材料

选择健康无病虫害的望天树容器苗为试验用苗(2017 年 8 月采种并播种育苗,1 年生幼苗平均苗高 13.0 cm、平均地径 2.99 mm),育苗容器为 16 cm×16 cm×12 cm(上口径×下口径×高)的塑料育苗袋,育苗基质为黄心土+稻谷壳(体积比为 7:3)。参试肥料:N 肥为硝酸铵(分析纯, NH₄NO₃ 含量≥99.0%,西陇化工股份有限公司产)、P 肥为磷酸二氢钠(分析纯, NaH₂PO₄·H₂O 含量≥99.0%,福晨(天津)化学试剂有限公司产)、K 肥为氯化钾(分析纯, KCl 含量≥99.5%,天津市致远化学试剂有限公司产),Ca 肥为氧化钙(分析纯, CaO 含量≥98.0%,天津市致远化学试剂有限公司产)。

1.3 试验方法

试验期为 2018 年 8—11 月。采用“4416”正交试验设计,共 16 个处理,重复 3 次,每个小区 10 株,共计 480 株(表 1)。连续追肥 3 次,每隔 30 d 淋施 1 次。定期清除杂草,土壤持水量保持在 80%左右。

1.4 测定指标和方法

生长指标包括苗高、地径。于 2018 年 8 月 13 日测定 16 个处理每株苗木的苗高、地径指标,此后每 30 d 测定 1 次,至 2018 年 11 月 13 日结束。苗高采用钢卷尺测定,精确到 0.1 cm,地径采用数显电子游标卡尺测定,精确到 0.01 mm。生理指标包括叶绿素含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白质含量以及丙二醛含量,分别于试验前(2018 年 8 月 13 日)和试验结束后(2018 年 11 月 13 日)采集测定样品,采集时,每个处理选取 3 株平均植株,每株收集 3~5 片成熟健康的完整叶片立即分装于密封塑料袋带回实验室,进行液氮速冻处理后放入 -70℃ 超低温冰箱中保存备用;各项生理指标的测定具体参照李合生^[19]的方法,其中叶绿素含量测定用 80% 丙酮提取比色法,可溶性糖含量用蒽酮-硫酸显色法,可溶性蛋白质含量用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定,丙二醛含量用硫代巴比妥酸法测定。

1.5 数据处理与分析

采用 Microsoft Office Excel 2007 对数据进行统计整理,SPSS 18.0 分析软件进行描述性统计分析,并进行单因素方差分析、Duncan 法多重比较($P<0.05$)以及相关性分析。

表 1 L16(4⁴)正交试验设计

Table 1 L16(4⁴)orthogonal design of fertilizing treatments

处理号	因素、水平				水平组合
	N(NH ₄ NO ₃ 施肥量)	P(NaH ₂ PO ₄ ·H ₂ O 配施量)	K(KCl 配施量)	Ca(CaO 配施量)	
	/(mg·株 ⁻¹)	/(mg·株 ⁻¹)	/(mg·株 ⁻¹)	/(mg·株 ⁻¹)	
1	0	0	0	0	N ₁ P ₁ K ₁ Ca ₁
2	0	10(50.37)	20(38.13)	50(69.96)	N ₁ P ₂ K ₂ Ca ₂
3	0	20(100.75)	40(76.27)	100(139.92)	N ₁ P ₃ K ₃ Ca ₃
4	0	40(201.50)	80(152.53)	200(279.84)	N ₁ P ₄ K ₄ Ca ₄
5	100(285.86)	0	20(38.13)	100(139.92)	N ₂ P ₁ K ₂ Ca ₃
6	100(285.86)	10(50.37)	0	200(279.84)	N ₂ P ₂ K ₁ Ca ₄
7	100(285.86)	20(100.75)	80(152.53)	0	N ₂ P ₃ K ₄ Ca ₁
8	100(285.86)	40(201.50)	40(76.27)	50(69.96)	N ₂ P ₄ K ₃ Ca ₂
9	200(571.71)	0	40(76.27)	200(279.84)	N ₃ P ₁ K ₃ Ca ₄
10	200(571.71)	10(50.37)	80(152.53)	100(139.92)	N ₃ P ₂ K ₄ Ca ₃
11	200(571.71)	20(100.75)	0	50(69.96)	N ₃ P ₃ K ₁ Ca ₂
12	200(571.71)	40(201.50)	20(38.13)	0	N ₃ P ₄ K ₂ Ca ₁
13	400(1143.43)	0	80(152.53)	50(69.96)	N ₄ P ₁ K ₄ Ca ₂
14	400(1143.43)	10(50.37)	40(76.27)	0	N ₄ P ₂ K ₃ Ca ₁
15	400(1143.43)	20(100.75)	20(38.13)	200(279.84)	N ₄ P ₃ K ₂ Ca ₄
16	400(1143.43)	40(201.50)	0	100(139.92)	N ₄ P ₄ K ₁ Ca ₃

注:括号内数值为各供试肥料的实际施肥量。

2 结果与分析

2.1 不同 N、P、K、Ca 配施处理对望天树苗木生长的影响

表 2 可见,第 1 次施肥 30 d 后不同处理间苗高、地径即呈现显著差异($P<0.05$),第 3 次施肥 30 d 后,不同处理间苗高、地径及其增量值均达到极显著水平($P<0.01$),说明望天树幼苗生长对不同 N、P、K、Ca 配施处理的响应明显。施肥后,苗高和地

径的平均增量值分别为 7.4~24.9 cm、1.25~2.32 mm,其中,处理 7、处理 8、处理 12 苗高显著提高,平均苗高增量达 18.3~24.9 cm,三者之间差异不显著;处理 1、处理 2、处理 3、处理 4 最差,增量值仅为 7.4~8.3 cm。地径生长表现较好的处理是 7、12,且处理 7 显著最大,达到 2.32 mm;表现较差的是处理 1、处理 4 以及处理 15,三者之间差异也不显著。结合苗高、地径指标,处理 7、处理 12 配施效果最好,处理 1、处理 4 的配施效果较差。

表 2 不同 N、P、K、Ca 配施处理下望天树苗木生长表现

Table 2 Growth of *Parashorea chinensis* seedlings under different N,P,K,Ca fertilizer treatments

处理	本底值		第 1 次淋施 30 d 后		第 2 次淋施 30 d 后		第 3 次淋施 30 d 后		增量值	
	苗高/cm	地径/mm	苗高/cm	地径/mm	苗高/cm	地径/mm	苗高/cm	地径/mm	苗高/cm	地径/mm
1	13.1 ^a	2.89 ^a	17.1 ^{bcd}	3.63 ^{cd}	18.3 ^d	4.49 ^{ab}	20.6 ^c	4.22 ^g	7.6 ^g	1.33 ^{cde}
2	12.7 ^a	2.85 ^a	16.7 ^{cd}	3.54 ^{cd}	19.1 ^d	4.40 ^{abc}	20.8 ^{bc}	4.52 ^g	8.2 ^g	1.66 ^{bcde}
3	12.7 ^a	2.96 ^a	15.8 ^d	3.40 ^d	18.1 ^d	4.25 ^{abcde}	21.0 ^c	4.35 ^g	8.3 ^g	1.40 ^{bcde}
4	13.2 ^a	2.94 ^a	17.4 ^{abcd}	3.77 ^{bcd}	19.5 ^d	4.03 ^{cde}	20.7 ^c	4.27 ^g	7.4 ^g	1.29 ^{de}
5	12.9 ^a	2.89 ^a	18.2 ^{abc}	3.63 ^{cd}	26.1 ^{abc}	4.35 ^{abcd}	31.6 ^{cd}	4.63 ^{bc}	18.7 ^{cd}	1.74 ^{bcd}
6	13.0 ^a	2.98 ^a	19.4 ^a	3.89 ^{abc}	25.0 ^{abc}	4.36 ^{abcd}	29.8 ^{de}	4.65 ^{bc}	16.8 ^{de}	1.67 ^{bcde}
7	12.9 ^a	2.90 ^a	18.53 ^{abc}	3.89 ^{abc}	27.6 ^a	4.62 ^a	37.8 ^a	5.24 ^a	24.9 ^a	2.32 ^a
8	13.1 ^a	3.01 ^a	18.9 ^{ab}	4.02 ^{ab}	27.5 ^a	4.31 ^{abcd}	35.7 ^{ab}	4.79 ^b	22.6 ^{ab}	1.77 ^{bc}
9	13.0 ^a	2.99 ^a	17.6 ^{abcd}	3.62 ^{cd}	24.0 ^{bc}	3.93 ^{de}	27.5 ^{ef}	4.30 ^c	14.4 ^{ef}	1.30 ^{de}
10	12.9 ^a	3.02 ^a	17.9 ^{abcd}	3.61 ^{cd}	27.1 ^{ab}	4.19 ^{bcde}	33.8 ^{bc}	4.52 ^{bc}	20.9 ^{bc}	1.50 ^{bcde}
11	13.0 ^a	2.74 ^a	17.1 ^{bcd}	3.42 ^d	24.5 ^{abc}	3.85 ^e	31.4 ^{cd}	4.25 ^c	18.3 ^{cd}	1.51 ^{bcde}
12	13.1 ^a	2.81 ^a	17.8 ^{abcd}	3.66 ^{bcd}	26.6 ^{ab}	4.11 ^{bcde}	36.6 ^a	4.61 ^{bc}	23.4 ^{ab}	1.79 ^b
13	13.2 ^a	2.75 ^a	18.42 ^{abc}	3.82 ^{bc}	25.9 ^{abc}	4.15 ^{bcde}	31.2 ^{cd}	4.42 ^{bc}	18.0 ^d	1.63 ^{bcde}
14	13.0 ^a	2.77 ^a	17.4 ^{abcd}	3.53 ^{cd}	24.4 ^{abc}	4.05 ^{bcde}	30.2 ^d	4.45 ^{bc}	17.0 ^{de}	1.63 ^{bcde}
15	13.0 ^a	2.81 ^a	18.1 ^{abc}	3.88 ^{abc}	23.0 ^c	4.18 ^{bcde}	27.0 ^f	4.27 ^c	13.3 ^f	1.25 ^e
16	13.0 ^a	2.88 ^a	18.2 ^{abc}	4.24 ^a	23.0 ^c	4.38 ^{abc}	27.2 ^{ef}	4.38 ^{bc}	14.1 ^f	1.49 ^{bcde}

注:小写字母表示在 $P<0.05$ 水平上显著性差异,在 $P<0.01$ 水平上极显著差异。下同。

2.2 不同 N、P、K、Ca 配施处理对望天树苗木生理特性的影响

如表 3 所示,不同配施处理的叶片叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白质以及丙二醛含量差异均达到极显著水平($P<0.01$),表明望天树幼苗生理特性对不同配施处理响应差异明显。其中,处理 11、处理 12 的叶片叶绿素含量、可溶性糖、可溶性蛋白质含量均显著最高,分别比处理 1 (不施肥)高出 126.4%、73.5%~74.8%、145.1%~150.0%,但二者之间没有显著差异;而处理 4 的叶绿素含量、可溶性糖含量以及可溶性蛋白质含量均表现为显著最低,分别低于处理 1 的 14.34%、6.57%、12.58%,同时,处理 4 的叶片丙二醛含量显著提高。

分析不同 N、P、K、Ca 配施处理后望天树叶片

表 3 不同 N、P、K、Ca 配施处理下望天树苗木叶片叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白以及丙二醛含量

Table 3 The content of chlorophyll, soluble sugar, soluble protein and malondialdehyde under different N, P, K, Ca fertilizer treatments				
处理	叶绿素含量 /(mg · g ⁻¹)	可溶性糖含量 /(mg · g ⁻¹)	可溶性蛋白质含量 /(mg · g ⁻¹)	丙二醛含量 /(μmol · L ⁻¹)
1	1.2933±0.0634 ^{fg}	9.9891±0.3333 ^d	4.2083±0.6824 ^{ef}	8.2842±0.9202 ^{bc}
2	1.3314±0.0586 ^f	10.2094±0.2769 ^d	4.1722±0.4137 ^{ef}	8.7192±0.8790 ^b
3	1.1505±0.0643 ^{fg}	9.6482±0.2061 ^d	4.3968±0.4739 ^{def}	9.5098±0.9266 ^b
4	1.1079±0.0633 ^g	9.3322±0.2648 ^d	3.6785±0.3999 ^f	11.5454±0.4512 ^a
5	1.8619±0.1033 ^e	12.8607±0.4997 ^c	5.1297±0.8674 ^{cde}	7.2346±0.8716 ^{cd}
6	2.1964±0.0544 ^d	15.8876±0.9316 ^b	4.9797±0.7952 ^{cde}	7.0785±1.1886 ^{cd}
7	2.6401±0.1198 ^c	15.9585±0.4314 ^b	7.8928±0.3518 ^b	5.5191±0.2237 ^{ef}
8	2.7218±0.0753 ^{bc}	15.6668±0.3873 ^b	7.9367±0.6104 ^b	6.0637±0.7918 ^{de}
9	2.2713±0.0928 ^d	16.0041±0.5294 ^b	4.6248±0.6820 ^{cdef}	6.2979±0.8587 ^{de}
10	2.5524±0.1125 ^c	15.9851±0.8265 ^b	7.7463±0.2933 ^b	6.0311±1.1653 ^{de}
11	2.9284±0.1701 ^{ab}	17.4658±0.9960 ^a	10.3126±0.8102 ^a	4.4010±0.8731 ^{fg}
12	2.9714±0.1173 ^a	17.3314±0.8583 ^a	10.5225±0.4089 ^a	3.7448±0.6642 ^g
13	2.7542±0.1053 ^{bc}	15.6902±0.5862 ^b	7.5376±0.4818 ^b	5.6894±0.1988 ^e
14	1.7372±0.1312 ^e	12.9016±0.7029 ^c	5.5529±0.8771 ^c	7.2898±0.7432 ^{cd}
15	1.8217±0.1672 ^e	12.7394±0.5258 ^c	5.4043±0.2974 ^{cd}	7.3383±0.7400 ^{cd}
16	1.8729±0.1762 ^e	12.7008±0.5766 ^c	4.9354±0.3655 ^{cde}	7.3880±1.3901 ^{cd}

2.3 不同 N、P、K、Ca 配施处理望天树幼苗各指标相关性分析

为进一步探究不同配施处理下望天树幼苗生理因子对其生长的影响变化,对苗高、地径和生理指标进行相关性分析,结果如表 4 所示。地径生长仅与

各生理指标的变化率(图 1),不同配施处理前后各测定指标变化率有所不同。叶绿素含量与可溶性糖含量变化趋势一致,除处理 3、处理 4 均呈下降趋势,其余处理均有所升高,其中处理 11、处理 12 变化幅度最大,达到 106.07%~209.89%、79.56%~88.12%;叶片可溶性蛋白质含量均呈现升高趋势,其变化率在 3.65%~212.51%,处理 11、处理 12 升高幅度最大。丙二醛含量是反映叶片受胁迫程度的重要指标,由图 1 可见,处理 1、处理 2、处理 3、处理 4 呈现升高趋势,且处理 4 升高幅度最大,说明这 4 个处理对望天树幼苗产生一定程度的胁迫,其余处理均有不同程度的下降,其中处理 11、处理 12 下降幅度最大。

叶绿素含量呈显著正相关关系,说明叶绿素色增加,有助于地径有机物增加,让苗木生长健壮;苗高与叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白质含量均呈现极显著正相关关系,与丙二醛含量则呈极显著负相关关系,说明望天树幼苗生长较好,其生理代谢表现也较好。

表 4 不同 N、P、K、Ca 配施处理下望天树苗木各指标相关性分析

Table 4 Correlation coefficient of each index of seedlings on different N, P, K, Ca fertilization						
指标	苗高	地径	叶绿素	可溶性糖	可溶性蛋白	丙二醛
苗高	1.000					
地径	0.820 5 **	1.000				
叶绿素含量	0.853 2 **	0.543 *	1.000			
可溶性糖含量	0.809 5 **	0.484 2	0.956 5 **	1.000		
可溶性蛋白含量	0.743 3 **	0.417	0.866 1 **	0.758 8 **	1.000	
丙二醛含量	-0.779 2 **	-0.478 6	-0.905 8 **	-0.880 7 **	-0.827 1 **	1.000

注: * 号表示显著相关, ** 号表示极显著相关。

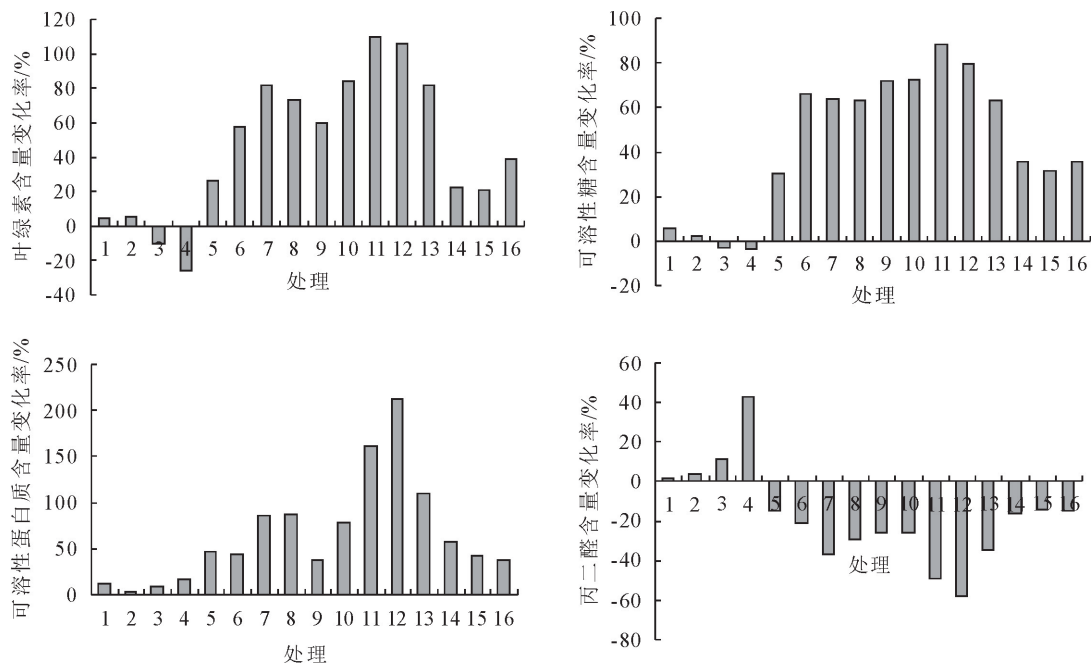


图 1 不同 N、P、K、Ca 配施处理后望天树叶片生理指标变化率

Fig. 1 The rate of change of physiological indicators under different N,P,K,Ca fertilizer treatments

3 结论与讨论

配方施肥是提高苗木品质的重要技术措施之一。本研究发现,不同 N、P、K、Ca 配施处理间对 1 年生望天树苗高和地径生长以及叶片叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白质和丙二醛含量的影响达到极显著差异。从生长表现来看,配施处理 N₂P₃K₄Ca₁ (100 mg N+20 mg P+ 80 mg K)和 N₃P₄K₂Ca₁ (200 mg N+40 mg P+20 mg K)的苗高和地径生长最好,而处理 1~处理 4 表现最差,可能与这些处理中 N 素缺失有关。N 是植物生长过程中不可或缺的营养元素,且需求量很大^[20]。本研究发现,N 素水平在 100~400 mg·株⁻¹ 的处理的苗高增长显著高于添加水平为 0 的 4 个处理,说明 N 素在望天树幼苗高生长中不可或缺,其中 N 水平为 100~200 mg·株⁻¹ 的苗高增量最高;而 K 水平为 80 mg·株⁻¹ (处理 7)和 P 水平为 40 mg·株⁻¹ (处理 12),其地径增长幅度显著高于其余处理,在一定程度上反映出配施 P 和 K 有利于苗木健壮。这与陈琳等^[21]、薛丹等^[22] 分别对灰木莲和杨树苗木配方施肥的研究结论基本一致。

叶绿素含量能反映叶片光合能力大小,可溶性糖是有机渗透调节剂,蛋白质是构成细胞和组织结构的最重要的组成成分,丙二醛是膜脂过氧化产物,通过测定叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白质和丙二醛含量,有助于了解植物生理代谢状况^[23-24]。研究表明,施肥可有效提高植物体内生理活性^[25-26],但遇到

生理胁迫时,丙二醛含量显著升高,叶绿素浓度和可溶性糖含量会下降^[24,27]。本研究发现,配施处理 N₃P₃K₁Ca₂ (200 mg N+20 mg P+ 50 mg Ca)和 N₃P₄K₂Ca₁ (200 mg N+40 mg P+20 mg K)生理指标表现最优,显著提高了望天树幼苗叶片的叶绿素、可溶性糖和可溶性蛋白质含量,降低了叶片丙二醛含量;对施肥后生理指标变化率分析发现,N 缺失的 4 个处理叶绿素、可溶性糖和可溶性蛋白质含量变化幅度较小,丙二醛含量均有较大程度的升高;而 Ca 配施水平较高的 N₁P₃K₃Ca₃ 和 N₁P₄K₄Ca₄,其叶绿素和可溶性糖含量甚至呈现出下降趋势,同时丙二醛含量有较大幅度的升高,反映了此时的望天树幼苗叶片已受到生理胁迫,究其原因可能是 Ca 素配施水平过高,也有可能是不同养分之间的拮抗作用引起的。有学者提出,望天树是喜钙树种,其乔木每积累 1 t 干物质所需营养元素大小为 Ca>N>Mg>P>K^[18,28]。本研究发现,添加适量 Ca 有利于提高望天树幼苗叶片生理状况,但水平过高会导致生理胁迫,分析其原因 Ca 可能不是望天树幼苗阶段的必要因子。目前关于望天树苗期对 Ca 的养分积累及需求特征研究尚未见报道,仍需继续探索 Ca 的配施方法及配施水平。

相关性分析表明,地径生长仅与叶绿素含量呈显著正相关关系,说明叶绿素色增加,有助于苗木健壮;苗高与叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白质含量均呈现极显著正相关关系,与丙二醛含量则呈极显著负相关关系,表明生理代谢与 1 年生望天树苗木生

长关系密切,可作为反映植物生长状况的参考指标。

目前,针对望天树壮苗培育技术报道甚少,关于其配方施肥的研究几乎空白。本研究结果表明,每株淋施 200 mg N+40 mg P+20 mg K 水溶液的处理方案对促进望天树幼苗生长和生理活性作用最优,而每株配施 200 mg N+20 mg P+50 mg Ca 的处理方案对提高叶片叶绿素含量和可溶性糖的积累作用最大,生产上建议 1 年生望天树壮苗培育过程中以配施 N、P、K 为主的复合肥料,前期以 N 为主促进苗木高生长,后期以 P、K 为主以提高苗木品质和抗性。由于试验条件及时间的限制,仅分析了不同 N、P、K、Ca 配施对望天树 1 年生幼苗生长及生理特性的影响,总的来说,施肥效应还应综合考虑其光合特性、养分利用率等各因素,此外与施肥时间、施肥次数及施肥频率也有密切关联,今后将继续探讨望天树苗期 N、P、K、Ca 的配施方法和最适范围,以及元素之间的交互效应,以期为望天树壮苗培育的应用推广提供科学依据。

参考文献:

[1] 梁建平. 广西珍稀濒危树种[M]. 南宁:广西科学技术出版社, 2001:167-168.

[2] 王兰新,郭贤明,赵新坤,等. 西双版纳自然保护区望天树群落结构分析[J]. 林业调查规划,2007,32(6):70-74.
WANG L X, GUO X M, ZHAO X K, *et al.* Analysis on major community structure of *Parashorea cathayensis* in Xishuangbanna nature reserve[J]. Forest Inventory and Planning, 2007, 32(6):70-74. (in Chinese)

[3] 薛敬意,唐建维,沙丽清,等. 西双版纳望天树林土壤养分含量及其季节变化[J]. 植物生态学报,2003,27(3):373-379.
XUE J Y, TANG J W, SHA L Q, *et al.* Soil nutrient contents and their characteristics of seasonal change under *Shorea chinensis* forest in Xishuangbanna[J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2003, 27(3):373-379. (in Chinese)

[4] 唐建维,邹寿青. 望天树人工林林木个体前期生长节律的研究[J]. 西部林业科学,2008,37(4):45-48.
TANG J W, ZOU S Q. Study on growth rhythm of *Parashorea chinensis* individual in manmade forest[J]. Journal of West China Forestry Science, 2008, 37(4):45-48. (in Chinese)

[5] 闫兴富,曹敏. 光照和温度对望天树种子萌发的影响[J]. 植物学通报,2006,23(6):642-650.
YAN X F, CAO M. Influence of light and temperature on the germination of *Shorea wantianshuae* (Dipterocarpaceae) seeds [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2006, 23(6):642-650. (in Chinese)

[6] 闫兴富,曹敏. 不同光照对望天树种子萌发和幼苗早期生长的影响[J]. 应用生态学报,20017,18(1):23-29.
YAN X F, CAO M. Effects of light intensity on seed germination and seedling early growth of *Shorea wantianshuae* [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 18(1):23-29. (in Chinese)

[7] 马跃,湛红辉,李武志,等. 望天树苗木分级技术研究[J]. 西北林学院学报,2012,27(4):153-156.
MA Y, CHAN H H, LI W Z, *et al.* Seedling grading technique of *Parashorea chinensis*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(4):153-156. (in Chinese)

[8] 梁机,杜加加,罗桂强,等. 不同育苗方式及种粒大小对望天树苗木生长的影响[J]. 南方农业学报,2012,43(12):2025-2029.
LIANG J, DU J J, LUO G Q, *et al.* Effects of different seedling-raising methods and seed sizes on the nursery stock growth of *Parashorea chinensis*[J]. Journal of Southern Agriculture, 2012, 43(12):2025-2029. (in Chinese)

[9] 黄松殿,梁机,梁小春,等. 不同育苗基质对望天树容器苗生长的影响[J]. 中国农学通报,2012,28(4):28-31.
HUANG S D, LIANG J, LIANG X C, *et al.* Effect of different nursery substrates on container seedlings growth of *Parashorea chinensis*[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(4):28-31. (in Chinese)

[10] 杜加加,梁机,陈月芳,等. 不同遮阴处理对望天树幼苗生长的影响[J]. 福建林业科技,2016,43(1):61-64.
DU J J, LIANG J, CHEN Y F, *et al.* Effects of different shade treatments on the seedling growth of *Parashorea chinensis* [J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2016, 43(1):61-64. (in Chinese)

[11] 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.
PANG S J, MA Y, ZHANG P, *et al.* Effects of substrate ratio and applying dosages of slow-release fertilizer on the growth of container *Parashorea chinensis* seedlings[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(6):66-71. (in Chinese)

[12] 左海军,马雁一,王梓,等. 苗木施肥技术及其发展趋势[J]. 世界林业研究,2010,23(3):39-43.
ZUO H J, MA L Y, WANG Z, *et al.* Research on fertilizer application technology for seedlings and its development trends[J]. World Forestry Research, 2010, 23(3):39-43. (in Chinese)

[13] CLOSE D C, BAIL I, HUNTER S, *et al.* Effects of exponential nutrient loading on morphological and nitrogen characteristics and on after planting performance of *Eucalyptus globules* seedlings[J]. Forest Ecology and Management, 2005, 205(1/2/3):397-403.

[14] INGESTAD T, LUND A B. Theory and techniques for steady-state mineral nutrition and growth of plants[J]. Scandinavian Journal of Forest Research, 1986(1):439-453.

[15] 梁坤南,潘一峰,刘文明. 柚木苗期多因素施肥试验[J]. 林业科学研究,2005,18(5):535-540.
LIANG K N, PAN Y F, LIU W M. Multi factors for fertilization trial of *Tectona grandis* in seedling stage[J]. Forest Research, 2005, 18(5):535-540. (in Chinese)

[16] 张斌,李志辉,陆佳. 施肥处理对仿栗苗期生理指标动态变化规律的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2009,29(3):60-64.
ZHANG B, LI Z H, LU J. Effects of fertilization on physiological activities of *Sloanea hemsleyana* seedlings[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2009, 29(3):60-64. (in Chinese)

[15] 麻海涛. 耕地质量与耕地景观格局的耦合性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.

[16] 马亚鑫, 丛辉, 周维博, 等. 西安市土地利用景观格局动态演变及驱动力分析[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(4): 186-192. MA Y X, CONG H, ZHOU W B, *et al.* Dynamic evolution and driving force analysis of land use landscape pattern in Xi'an [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(4): 186-192. (in Chinese)

[17] 徐占勇. 基于最小耗费距离森林景观斑块耦合网络的构建[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2019.

[18] 陈磊. 加权森林景观斑块耦合网络节点特性研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2017.

[19] 唐涛. 基于邻接关系的森林景观斑块耦合网络特性分析[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2016.

[20] 陈雅如. 三峡库区森林生产力与碳储量对景观格局变化的响应[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2017.

[21] 吕海亮. 城市植被与土壤碳储量时空变化规律研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2017.

[22] 张丹. 城市化背景下城市森林结构与碳储量时空变化研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2015.

[23] 孟伟. 五指山市森林植被碳储量特征与固碳价值研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2014.

[24] 刘立武. 五指山市林地景观格局及森林碳储量时空演变研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2015.

[25] 赵牧秋, 陈凯伦, 史云峰. 三亚市红树林碳储量与固碳能力分析[J]. 琼州学院学报, 2013, 20(5): 85-88.

[26] 陈利顶, 李秀珍, 傅伯杰, 等. 中国景观生态学发展历程与未来研究重点[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3129-3141. CHEN L D, LI X Z, FU B J, *et al.* Development and future research focus of landscape ecology in China [J]. Journal of Ecology, 2014, 34(12): 3129-3141. (in Chinese)

[27] 张利利. 海口市城乡交错带景观格局梯度变化研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2016.

[28] 汪力航. 云南省旅游业与现代服务业耦合发展研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2017.

[29] 约日古丽卡斯木. 艾比湖流域经济—生态系统耦合时空分异及影响因素研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2019.

[30] 陈仙春, 赵俊三, 陈磊士, 等. 基于 Landsat 影像的玉溪市红塔区土地覆盖分类及变化分析[J]. 森林工程, 2019, 35(3): 1-8.

[31] 严坤, 孙然好. 京津冀县域城镇化与景观格局变化的协调性研究[J]. 生态环境学报, 2018, 27(1): 62-70. YAN Y, SUN R H. Study on the coordination of urbanization and landscape pattern change in Beijing, Tianjin and Hebei [J]. Journal of ecological environment, 2018, 27(1): 62-70. (in Chinese)

[32] 周蕾, 王冲. 中国旅游产业-新型城镇化-生态环境耦合协调度实证研究[J]. 西南交通大学学报: 社会科学版, 2016, 17(6): 122-129, 141. ZHOU L, WANG C. An empirical study on the coupling coordination degree of China's tourism industry, new urbanization and ecological environment [J]. Journal of Southwest Jiaotong University: Social Science Edition, 2016, 17(6): 122-129, 141. (in Chinese)

(上接第 115 页)

[17] 赵娣妮, 徐德禄, 李志辉. 配方施肥对赤皮青冈容器苗生长的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(5): 22-25. ZHAO C N, XU D L, LI Z H. Effects of formulated fertilization on growth *Cyclobalanopsis gilva* container seedlings[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2013, 33(5): 22-25. (in Chinese)

[18] 黄吉荣. 望天树的土壤条件[J]. 土壤通报, 1979(3): 37-38.

[19] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

[20] ABBATE P E, ANDRADE F H, CULO J P. The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat[J]. The Journal of Agricultural Science, 2009, 124: 351-360.

[21] 陈琳, 卢立华, 蒙彩兰. 氮磷钾对灰木莲幼苗生长和光合作用的影响[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(2): 16-21. CHEN L, LU L H, MENG C L. Combined effects of nitrogen, phosphorus and potassium on the growth and photosynthesis of *Manglietia glauca* seedlings[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(2): 16-21. (in Chinese)

[22] 薛丹, 陈金林, 于彬, 等. 杨树苗木配方施肥试验[J]. 南京林业大学学报: 自然科学报, 2009, 33(5): 37-40. XUE D, CHEN J L, YU B, *et al.* Study on formulated fertilization for poplar seedling [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2009, 33(5): 37-40. (in Chinese)

[23] 蔡雅桥. 配方施肥对钩栗生长和生理特性的影响[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2016.

[24] 高俊飞. 不同配方施肥对榉树幼苗生长和生理的影响[D]. 南京: 南京林业大学, 2013.

[25] 段如雁, 韦小丽, 张志栋, 等. 珍贵树种花榈木容器苗配方施肥试验[J]. 森林与环境学报, 2017, 37(2): 225-230. DUAN R Y, WEI X L, ZHANG Z D, *et al.* Study on formula fertilization for container seedlings of rare species *Ormosia henryi* [J]. Journal of Forest and Environment, 2017, 37(2): 225-230. (in Chinese)

[26] 付晓凤, 王莉珊, 朱原, 等. 不同施肥处理对海南风吹楠幼苗生长及生理特性影响[J]. 植物科学学报, 2018, 36(2): 273-281. FU X L, WANG L S, ZHU Y, *et al.* Effects of different fertilization treatments on the growth and physiological characteristics of *Horsfieldia hainanensis* Merr. seedlings[J]. Plant Science Journal, 2018, 36(2): 273-281. (in Chinese)

[27] 常冀原. 施肥对江南油杉幼苗生理特性的影响[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2015.

[28] 李元强, 罗毅敏, 廖肇章, 等. 望天树人工林营养元素含量、积累与分配特征研究[J]. 广东农业科学, 2014(18): 34-38. LI Y Q, LUO Y M, LIAO J Z, *et al.* Concentration, accumulation and distribution characteristics of nutrient elements in *Parashorea chinensis* plantation [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2014(18): 34-38. (in Chinese)