

氮磷钾配比施肥对观光木幼苗生理与光合特性的影响

唐新瑶¹, 亢亚超^{1,2}, 梁喜献^{1,3*}, 马道承¹, 王凌晖¹

(1. 广西大学 林学院, 广西 南宁 530004; 2. 驻马店市绿化处, 河南 驻马店 463000; 3. 广西大学 行健文理学院, 广西 南宁 530004)

摘要:以1年生观光木幼苗为试验材料,采用N、P、K 3因素3水平正交试验设计,探究N、P、K配比施肥对观光木幼苗生长、生理及光合特性的影响,旨在为观光木苗木施肥提供科学依据。结果表明,T6(N2P3K1)处理组观光木幼苗的株高增量、地径增量最高,适当的施肥处理有利于促进观光木幼苗的生长发育;T6(N2P3K1)处理组观光木幼苗叶片的可溶性糖、可溶性蛋白含量最高,丙二醛、游离脯氨酸含量最低,适当的施肥处理有利于促进观光木幼苗体内的生理代谢;T6(N2P3K1)处理组的叶绿素a、b的含量最高,且净光合速率、气孔导度、胞间CO₂浓度、蒸腾速率最高,适当的施肥处理有利于增强观光木幼苗的光合作用。综上所述,T6(N2P3K1)处理组(即尿素、过磷酸钙、氯化钾施用量分别为2.586、16.875、0.833 g/株)为本试验条件下的最佳施肥组合。

关键词:观光木;生长;生理特性;光合特性;配比施肥

中图分类号:S725.5

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2022)04-0037-06

Effects of N, P and K Proportional Fertilization on the Physiological and Photosynthetic Characteristics of *Tsoongiodendron odorum* Seedlings

TANG Xin-yao¹, KANG Ya-chao^{1,2}, LIANG Xi-xian^{1,3*}, MA Dao-cheng¹, WANG Ling-hui¹

(1. Forestry College, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China;

2. Greening Division of Zhumadian, Zhumadian 463000, Henan, China;

3. Xingjian College of Science and Liberal Arts, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China)

Abstract: One-year-old *Tsoongiodendron odorum* seedlings were used as the experimental materials, a three-factor and three-level orthogonal design was adopted to explore the effects of proportional fertilization of N, P, K on the growth, physiological and photosynthetic characteristics of *T. odorum* seedlings. The purpose of the study was to provide scientific basis for fertilization of *T. odorum*. The results showed that T6 (N2P3K1) treatment reached the highest in the increments of seedling height and basal diameter, indicating that appropriate fertilization treatment was beneficial to promote the growth of *T. odorum* seedlings. T6 treatment presented the highest in the content of soluble sugar and soluble protein, and exhibited the lowest in the content of malondialdehyde and free proline, revealing that appropriate fertilization treatment might facilitate the physiological metabolic process of *T. odorum* seedlings. T6 treatment reached the highest in the contents of chlorophyll a and b, as well as the highest in the net photosynthesis rate, stomatal conductance, intercellular CO₂ concentration and transpiration rate, indicating that appropriate fertilization treatment could enhance the photosynthesis of *T. odorum* seedlings. In summary, the T6 treatment (urea 2.586 g/plant, calcium superphosphate 16.875 g/plant and potassium chloride 0.833 g/plant) was the most suitable ratio fertilization combination under the experimental conditions.

收稿日期:2021-06-16 修回日期:2021-09-29

基金项目:国家自然科学基金(31360174);广西林业科技资助项目(桂林科字[2012]第17号);广西高校中青年教师科研能力提升项目(2020KY54022)。

作者简介:唐新瑶。研究方向:园林植物栽培及育种。E-mail:tangxinyao0114@163.com

*通信作者:梁喜献,硕士,高级工程师。研究方向:园林规划设计及园林植物栽培。E-mail:119772776@qq.com

Key words: *Tsoongiodendron odorum*; growth; physiological characteristics; photosynthetic characteristics; ratio fertilization

观光木 (*Tsoongiodendron odorum*), 木兰科 (Magnoliaceae) 观光木属 (*Tsoongiodendron*) 常绿乔木, 其树形高大、枝叶稠密, 木材结构细致、易加工, 具有绿化价值与经济价值。观光木是中国特有的古老孑遗树种与极小种群物种, 被国家列为珍稀濒危二级保护植物, 是重要的植物种质资源, 因此具有重要的研究意义。目前, 我国学者对于观光木的研究主要集中在遗传多样性^[1]、培育技术^[2]、抗性生理^[3]等方面, 有关观光木配比施肥的研究比较欠缺, 尚未形成科学合理的施肥体系。

N、P、K 是植物需求最多的 3 大元素, 合理的配比施肥能促进植物的生长生理发育^[4], 近年来许多学者进行了 N、P、K 配比施肥的相关研究, 其中, 周樊等^[5]对薄壳山核桃的施肥研究结果表明, N 肥对幼苗生长生理指标有显著影响, 不同施肥处理均不同程度地促进了植物的生长发育。闫杰伟等^[6]对观赏桃‘元春’的施肥研究结果表明, 不同施肥处理组的生长、生理、光合指标表现均优于未施肥组, 合理的施肥能使植物生长健壮及充分积累营养物质。李文^[7]对青钱柳的施肥研究结果表明, 施肥处理有效地促进了青钱柳体内的生理代谢过程, 提高光合能力, 有利于增强青钱柳的抗逆性, 为提高苗木质量提供科学依据。

本研究以 1 年生观光木幼苗为试验材料, 对其进行 N、P、K 配比施肥试验, 分析不同配比施肥组合对观光木幼苗生长、生理及光合特性的影响, 选出本试验条件下最适宜观光木健康快速成长的配比施肥组合, 为观光木苗期高效栽培提供理论依据, 对珍稀树种观光木的育苗工作具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地点位于广西壮族自治区南宁市广西大学林学院教学实验基地内 (108°22'E, 22°48'N), 该地属亚热带季风气候, 年降水量大, 无霜期长, 适宜观光木幼苗的生长。苗圃内地势平坦, 并装有可定时灌水系统, 可以保证水分的供给。

1.2 试验材料

试验用苗为 1 年生实生苗, 由南宁市树木园提供。2018 年 10 月选取 100 株长势一致、无病虫害的观光木幼苗 (株高 24.17±0.29 cm, 地径 5.57±0.1 mm) 移栽于 17 cm (半径)×14 cm (高) 的塑料盆中, 经过 5 个月的缓苗, 于 2019 年 3 月开始 N、P、

K 配比施肥试验, 试验周期共 8 个月, 其间统一对苗木进行养护管理工作。试验中 N 肥选用尿素 (含 N 率 46.4%), P 肥选用磷酸钙 (含 P₂O₅ 率 16%), K 肥选用氯化钾 (含 K₂O 率 60%)。

1.3 试验设计

本研究采用 3 因素 3 水平正交试验设计, 以 CK 为不施肥对照组, 共 10 个处理组, 每个处理组均设 10 个重复。参考银彬吾等^[9]的配比施肥试验设计及合理施肥量计算公式^[10], 分析调整后确定本试验的 N、P、K 水平 (N 为 0.6、1.2、1.8 g/株; P 为 0.9、1.8、2.7 g/株; K 为 0.5、1.0、1.5 g/株), 正交试验设计见表 1。试验于 2019 年 3 月至 10 月的每个月初施肥, 共 8 次, 施肥方法为浇灌施肥, 每株幼苗施加 100 mL 处理液。

表 1 施肥试验正交设计

Table 1 Orthogonal design table of fertilizer application

处理组	尿素 (N)	过磷酸钙 (P ₂ O ₅)	氯化钾 (K ₂ O)
T1(N1P1K1)	0.6(1.293)	0.9(5.625)	0.5(0.833)
T2(N1P2K2)	0.6(1.293)	1.8(11.250)	1(1.667)
T3(N1P3K3)	0.6(1.293)	2.7(16.875)	1.5(2.500)
T4(N2P1K2)	1.2(2.586)	0.9(5.625)	1(1.667)
T5(N2P2K3)	1.2(2.586)	1.8(11.250)	1.5(2.500)
T6(N2P3K1)	1.2(2.586)	2.7(16.875)	0.5(0.833)
T7(N3P1K3)	1.8(3.879)	0.9(5.625)	1.5(2.500)
T8(N3P2K1)	1.8(3.879)	1.8(11.250)	0.5(0.833)
T9(N3P3K2)	1.8(3.879)	2.7(16.875)	1(1.667)
CK	0	0	0

注: 表中数值均为 8 次施肥的总量, 括号内为肥料的实际施肥量 (g/株)。

1.4 指标测定

生长指标: 株高、地径用到的测定工具为直尺、游标卡尺, 株高、地径增量=处理结束后数值-处理开始前数值。

生理指标: 叶绿素测定方法为丙酮-乙醇法^[10]; 可溶性糖测定方法为蒽酮比色法^[11]; 可溶性蛋白测定方法为考马斯亮蓝 (G-250) 染色法^[12]; 丙二醛测定方法为硫代巴比妥酸法^[13]; 游离脯氨酸测定方法为酸性茚三酮^[13]。

光合指标: 使用 LI-6400XT 光合仪测定净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度 (摩尔分数)、蒸腾速率。

1.5 数据处理与分析

试验数据采用 Microsoft Office Excel 软件进行数据统计与制图, SPSS、DPS 软件进行数据处理

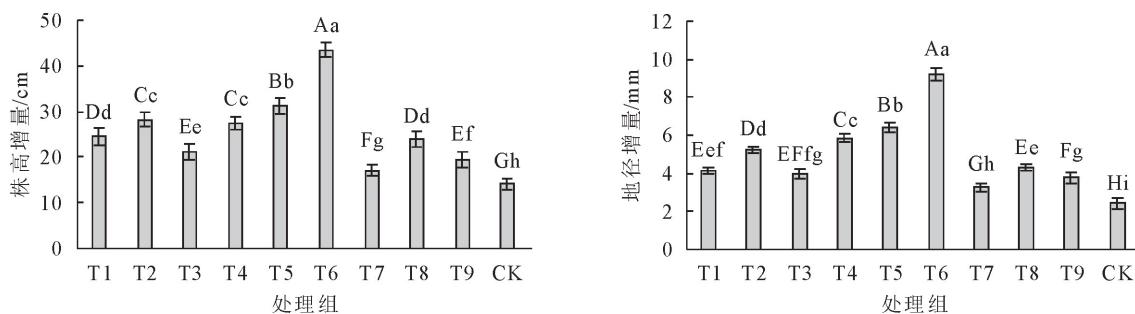
与分析,LSD法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同配比施肥对观光木幼苗生长的影响

由图1可知,不同施肥处理下,观光木幼苗的株高、地径均有所增长,株高、地径影响效应为 $N>K>P$ 。株高增量的排序为 $T6>T5>T2>T4>T1>T8>T3>T9>T7>CK$,其中株高增量在T6处理

组取得最大值,在对照组CK取得最小值,T6处理组株高增量为对照组CK的3.08倍;地径增量的变化趋势与株高增量相似,整体排序为 $T6>T5>T4>T2>T8>T1>T3>T9>T7>CK$,其中地径增量在T6处理组取得最大值,在对照组CK取得最小值,T6处理组地径增量为对照组CK的3.81倍。由此可知,T6处理组为促进观光木幼苗株高、地径增长的最佳配比施肥组合。



注:同列数值出现相同字母表示差异不显著($P>0.05$),不同字母表示差异极显著($P<0.01$)。下同。

图1 不同配比施肥对幼苗株高增量、地径增量的影响

Fig. 1 Effects of different ratio fertilizers on height increment and ground diameter increment of seedlings

2.2 不同配比施肥对观光木幼苗可溶性糖(SS)、可溶性蛋白含量(SP)的影响

由图2可知,不同施肥处理下,观光木幼苗叶片的可溶性糖、可溶性蛋白含量均有所增长,可溶性糖影响效应为 $N>P>K$,可溶性蛋白影响效应为 $K>N>P$ 。可溶性糖含量的排序为 $T6>T5>T4>T2>T3>T8>T9>T1>T7>CK$,其中可溶性糖含量在T6处理组取得最大值,在对照组CK取得最小

值,T6处理组可溶性糖含量为对照组CK的1.89倍;可溶性蛋白含量的变化趋势与可溶性糖含量相似,整体排序为 $T6>T4>T8>T2>T1>T5>T3>T9>T7>CK$,其中可溶性蛋白含量在T6处理组取得最大值,在对照组CK取得最小值,T6处理组可溶性蛋白含量为对照组CK的3.27倍。由此可知,T6处理组为促进观光木幼苗叶片可溶性糖、可溶性蛋白含量增长的最佳配比施肥组合。

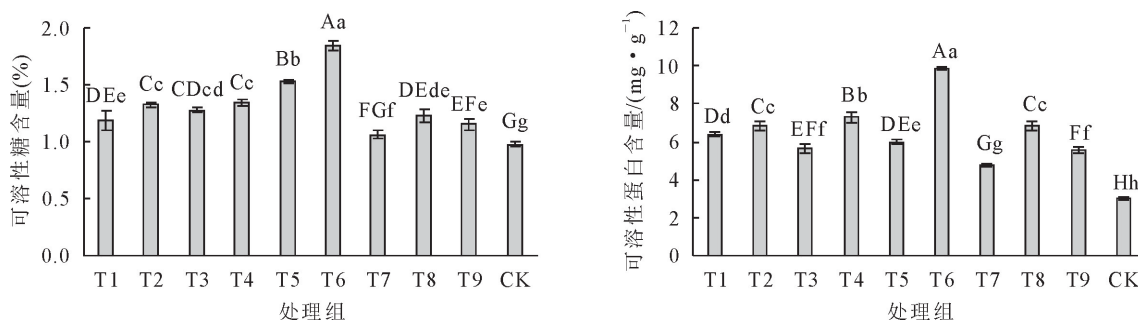


图2 不同配比施肥对叶片可溶性糖、可溶性蛋白含量的影响

Fig. 2 Effects of different ratio fertilizers on soluble sugar, soluble protein content in leaves

2.3 不同配比施肥对观光木幼苗丙二醛(MDA)、游离脯氨酸(Pro)的影响

由图3可知,不同施肥处理下,观光木幼苗叶片的丙二醛、游离脯氨酸含量均有所降低,丙二醛影响效应为 $N>K>P$,游离脯氨酸影响效应为 $N>P>K$ 。丙二醛含量的排序为 $CK>T7>T9>T3>T1>T8>T2>T5>T4>T6$,其中丙二醛含量在对照组CK取得最高值,在T6处理组取得最小值,对照

组CK丙二醛含量为T6处理组的1.96倍;游离脯氨酸含量的变化趋势与丙二醛含量相似,整体排序为 $CK>T7>T3>T9>T8>T4>T1>T2>T5>T6$,其中游离脯氨酸含量在对照组CK取得最大值,在T6处理组取得最小值,对照组CK游离脯氨酸含量为T6处理组的2.28倍。由此可知,T6处理组为降低观光木幼苗叶片丙二醛、游离脯氨酸含量的最佳配比施肥组合。

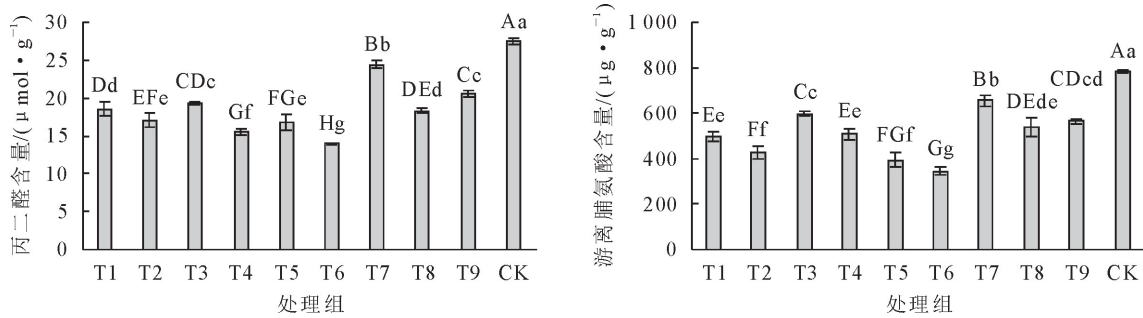


图3 不同配比施肥对叶片丙二醛、游离脯氨酸含量的影响

Fig. 3 Effects of different ratio fertilizers on MDA, proline content in leaves

2.4 不同配比施肥对观光木幼苗叶绿素 a、叶绿素 b 的影响

由图 4 可知,不同施肥处理下,观光木幼苗叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 含量均有所提高,叶绿素 a、b 影响效应为 $N > K > P$ 。叶绿素 a 含量的排序为 $T6 > T4 > T5 > T9 > T2 > T8 > T1 > T7 > T3 > CK$,其中叶绿素 a 含量在 T6 处理组取得最高值,在对照组 CK 取得最小值,T6 处理组叶绿素 a 含量为对照组 CK 的 1.63 倍;叶绿素 b 含量的变化趋势与叶绿素 a 含量相似,整体排序为 $T6 > T4 > T5 > T9 > T2 > T8 > T1 > T7 > T3 > CK$,其中叶绿素 b 含量在 T6 处理组取得最大值,在对照组 CK 取得最小值,T6 处理组叶绿素 b 含量为对照组 CK 的 1.69 倍。由此可知,T6 处理组为提高观光木幼苗叶片叶绿素 a、叶绿素 b 含量的最佳配比施肥组合。

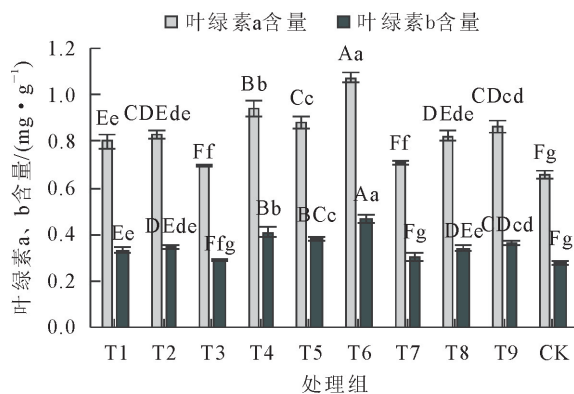


图4 不同配比施肥对叶片叶绿素 a、叶绿素 b 含量的影响

Fig. 4 Effects of different ratio fertilizers on chlorophyll a, b content in leaves

2.5 不同配比施肥对观光木幼苗净光合速率 (P_n)、气孔导度 (G_s) 的影响

由表 2 可知,不同施肥处理下,观光木幼苗叶片的净光合速率、气孔导度均有所提高,净光合速率、气孔导度影响效应为 $N > K > P$ 。净光合速率的排序为 $T6 > T5 > T4 > T2 > T8 > T7 > T9 > T1 > T3 > CK$,其中净光合速率在 T6 处理组取得最高值,

在对照组 CK 取得最小值,T6 处理组净光合速率为对照组 CK 的 4.24 倍;气孔导度的变化趋势与净光合速率相似,整体排序为 $T6 > T5 > T8 > T2 > T4 > T7 > T1 > T9 > T3 > CK$,其中气孔导度在 T6 处理组取得最大值,在对照组 CK 取得最小值,T6 处理组气孔导度为对照组 CK 的 4.86 倍。由此可知,T6 处理组为提高观光木幼苗叶片净光合速率、气孔导度的最佳配比施肥组合。

2.6 不同配比施肥对观光木幼苗胞间 CO_2 浓度 (C_i)、蒸腾速率 (T_r) 的影响

由表 2 可知,不同施肥处理下,观光木幼苗叶片的胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率均有所提高,胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率影响效应为 $N > K > P$ 。胞间 CO_2 浓度的排序为 $T6 > T5 > T8 > T4 > T7 > T2 > T9 > T1 > T3 > CK$,其中胞间 CO_2 浓度在 T6 处理组取得最高值,在对照组 CK 取得最小值,T6 处理组胞间 CO_2 浓度为对照组 CK 的 1.72 倍;蒸腾速率的变化趋势与胞间 CO_2 浓度相似,整体排序为 $T6 > T5 > T8 > T2 > T4 > T7 > T1 > T9 > T3 > CK$,其中气孔导度在 T6 处理组取得最大值,在对照组 CK 取得最小值,T6 处理组气孔导度为对照组 CK 的 4.81 倍。由此可知,T6 处理组为提高观光木幼苗叶片胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率的最佳配比施肥组合。

3 讨论

本试验中,施肥组整体表现优于对照组,根据 N、P、K 影响效应可知,N 是影响观光木幼苗生长、生理与光合指标的重要因子,但 N 肥必须与 P 肥、K 肥合理搭配,才会有更好的效果。本研究发现,N、P、K 配比施肥对观光木幼苗的生长、生理及光合指标影响达到极显著差异水平 ($P < 0.01$),观光木幼苗表现最好的配比施肥组均为 T6 处理组,各项指标变化呈现先上升后下降的趋势,说明在适当的比例范围内,观光木幼苗的生长发育、生理活性及光合能力会随着 N 肥施用量的增加而有更好的表现,当比例超过一定限度时植物的生长则遭受抑制,苗

表 2 不同配比施肥对叶片光合指标的影响
Table 2 Effects of different ratio fertilizers on photosynthesis indices in leaves

处理组	净光合速率 $P_n/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	气孔导度 $G_s/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	胞间 CO_2 浓度 $C_i/(\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$	蒸腾速率 $T_r/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$
(T1)N1P1K1	1.926 3±0.051 9Fg	0.022 2±0.000 5Ee	209.653 7±9.481 4DEd	0.581 2±0.012 9Dde
(T2)N1P2K2	2.966 0±0.101 7CDd	0.028 3±0.000 4Cc	226.550 3±8.443 8CDc	0.735 9±0.011 6Cc
(T3)N1P3K3	1.838 7±0.045 0Fg	0.015 3±0.000 3Ff	205.548 0±7.397 5EFd	0.398 3±0.012 1Ef
(T4)N2P1K2	3.143 3±0.119 0BCc	0.027 3±0.000 3Cc	247.477 0±3.167 5Bb	0.706 7±0.031 6Cc
(T5)N2P2K3	3.346 3±0.074 5Bb	0.031 8±0.000 2Bb	256.080 7±9.308 2Bb	0.824 9±0.033 7Bb
(T6)N2P3K1	5.040 7±0.079 1Aa	0.060 8±0.000 4Aa	325.047 3±5.403 4Aa	1.441 6±0.023 2Aa
(T7)N3P1K3	2.289 3±0.124 7Ef	0.024 6±0.000 7Dd	227.517 3±6.454 8Cc	0.614 0±0.028 2Dd
(T8)N3P2K1	2.783 7±0.159 7De	0.031 7±0.000 7Bb	252.803 7±7.853 6Bb	0.820 7±0.019 3Bb
(T9)N3P3K2	2.275 3±0.117 4Ef	0.021 7±0.001 0Ee	224.909 0±6.189 5CDc	0.570 5±0.030 1De
CK	1.189 7±0.081 1Gh	0.012 5±0.001 0Gg	189.073 7±9.769 7Fe	0.299 8±0.019 4Fg

木发育不佳,这与吴彦桦^[14]、胡厚臻^[15]对粉花山扁豆、巨尾桉的施肥研究结果相似。

植物株高、地径的增量可以直观地反映植物的生长情况^[16],本研究发现,不同施肥处理下观光木幼苗株高、地径增量均大于不施肥对照组,说明适量施肥对植物的生长起到了促进作用,有利于株高、地径的积累,这与陈琳等^[17]、郑绍鑫等^[18]对灰木莲、麻风树的施肥研究结果相似。

通过测定可溶性糖、可溶性蛋白、丙二醛、游离脯氨酸含量有助于了解植物的生理代谢状况^[19]。本研究发现,不同施肥处理下观光木幼苗可溶性糖、可溶性蛋白含量均高于不施肥对照组,丙二醛、游离脯氨酸含量均高于 T6 处理组,说明适量施肥有利于调节植物生命活动,增强植物的 C、N 代谢能力,提高糖和蛋白的产生与积累,为植物的生长发育提供能量,这与李婷等^[19]、魏国余等^[20]等对望天树、红锥的施肥研究结果相似。但植物处于低 N 或高 N 环境中会受到一定程度的胁迫,细胞膜质过氧化程度高导致丙二醛含量升高,植株需要通过渗透调节来适应不利影响,游离脯氨酸便大量积累,这与粟春青^[21]对假苹婆的施肥研究结果相似。

光合作用是植物生长的基础,叶绿素是光合作用中将光能转化为化学能的关键物质,其含量高低可以直接影响到植物光合能力的大小^[22]。本研究发现,不同施肥处理下观光木幼苗叶绿素 a、b 含量、光合指标参数均高于不施肥对照组,说明适量施肥能增加观光木幼苗叶绿素 a、b 含量,有利于改善植株光合性能,促进观光木幼苗干物质的积累,这与胡厚臻等^[16]、刘福妹等^[23]对刨花润楠、白桦树的施肥研究结果相似。当处于施氮量不足或过量的逆境条件下,植物的光合生理参数受到影响而降低,而适量的氮磷钾配比施肥有利于促进光合产物的运转和积累,对植物的光合能力起到促进作用,因此观光木幼

苗的光合指标整体呈现先上升后下降的趋势,这与付晓凤等^[22]、吴焦焦等^[24]对海南风吹楠、黄栌的施肥研究结果相似。

4 结论

采用 3 因素 3 水平正交试验设计,可高效探索不同配比施肥对观光木幼苗的影响。研究结果表明,不同施肥处理均促进了观光木幼苗的生长发育、生理活性及光合能力,当施用尿素 2.586 g/株,过磷酸钙 16.875 g/株,氯化钾 0.833 g/株时促进作用最佳,T6(N2P3K1)处理组为本试验条件下的最佳配比施肥组合。目前,针对观光木育苗施肥的研究较少,由于气候、土壤等不同均会导致最适宜的配比施肥量存在差异,今后应继续研究不同条件下观光木苗期施肥量的最佳范围,以期对观光木的应用推广及壮苗施肥提供参考依据。

参考文献:

[1] 徐刚标,吴雪琴,蒋桂雄,等.濒危植物观光木遗传多样性及遗传结构分析[J].植物遗传资源学报,2014,15(2):255-261.
XU G B, WU X Q, JIANG G X, *et al.* Genetic diversity and population structure of an endangered species: *Tsoongiodendron odorum* Chun[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2014, 15(2):255-261. (in Chinese)

[2] 欧斌,彭丽,廖彩霞,等.观光木实生苗培育技术及苗木质量分级指标研究[J].南方林业科学,2017,45(6):29-32.
OU B, PENG L, LIAO C X, *et al.* Study on cultivation techniques and quality grading indexes for seedlings of *Tsoongiodendron odorum* [J]. South China Forestry Science, 2017, 45 (6):29-32. (in Chinese)

[3] 谢安德,王凌晖,潘启龙,等.盐分胁迫对观光木幼苗生长及生理特性的影响[J].西北林学院学报,2012,27(2):22-25.
XIE A D, WANG L H, PAN Q L, *et al.* Effects of salt stress on growth and physiological characteristics of *Tsoongiodendron odorum* seedlings[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(2):22-25. (in Chinese)

- [4] 周维. 氮磷钾配比施肥对格木幼苗生长及光合特性影响的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2016.
- [5] 周樊, 陈文静, 曹凡, 等. 配比施肥对薄壳山核桃幼苗生长和生理特性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(9): 96-103.
ZHOU F, CHEN W J, CAO F, *et al.* Effects of fertilization on growth and physiological characteristics of pecan seedlings[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2020, 40(9): 96-103. (in Chinese)
- [6] 闫杰伟. 施肥对观赏桃‘元春’生长及生理特性的影响[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2019.
- [7] 李文. 配比施肥对青钱柳生长及生理特性的影响[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2020.
- [8] 银彬吾, 汤雷吼, 李小敏, 等. 施肥对火力楠苗木生长和生理特性的影响[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(8): 177-179.
YIN B W, TANG L H, LI X M, *et al.* Effect of fertilizing on the growth and physiological characteristics of *Michelia macclurei* seedlings[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(8): 177-179. (in Chinese)
- [9] 李仁岗. 根据肥料效应函数确定经济合理施肥量[J]. 土壤通报, 1983(3): 24-29.
- [10] 杨敏文. 快速测定植物叶片叶绿素含量方法的探讨[J]. 光谱实验室, 2002(4): 478-481.
YANG M W. Study on rapid determination of chlorophyll content of leaves[J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2002(4): 478-481. (in Chinese)
- [11] 谢冰, 饶在生, 向金友, 等. 蒽酮比色法测定烟叶中可溶性糖的不确定度评定[J]. 中国测试, 2015, 41(Supp. 1): 10-13.
XIE B, RAO Z S, XIANG J Y, *et al.* Evaluation of uncertainty of the determination of soluble sugar in tobacco by anthrone colorimetry[J]. China Measurement & Test, 2015, 41(Supp. 1): 10-13. (in Chinese)
- [12] 邓丽莉, 潘晓倩, 生吉萍, 等. 考马斯亮蓝法测定苹果组织微量可溶性蛋白含量的条件优化[J]. 食品科学, 2012, 33(24): 185-189.
DENG L L, PAN X Q, SHENG J P, *et al.* Optimization of experimental conditions for the determination of water soluble protein in apple pulp using coomassie brilliant blue method[J]. Food Science, 2012, 33(24): 185-189. (in Chinese)
- [13] 张以顺, 黄霞, 陈云凤. 植物生理学实验教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [14] 吴彦桦. 氮磷钾配比施肥对粉花山扁豆幼苗生长生理及土壤性质的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2018.
- [15] 胡厚臻. 配方施肥下巨尾桉的生长生理及土壤肥力特征研究[D]. 南宁: 广西大学, 2016.
- [16] 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.
HU H Z, HOU W J, PAN Q L, *et al.* Effects of formulated fertilization on the growth and photosynthetic physiological properties of *Machilus pauhoi* seedlings[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(6): 39-45. (in Chinese)
- [17] 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)
- [18] 郑绍鑫, 滕维超, 胡厚臻, 等. 氮磷钾肥料处理对麻风树苗木生长及生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(6): 171-174.
- [19] 李婷, 刘莉, 武志伟, 等. 氮磷钾钙配施对望天树幼苗生长及生理特性的影响[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(6): 110-115.
LI T, LIU L, WU Z W, *et al.* Effects of combined application of nitrogen, phosphorus, potassium, and calcium on the growth and physiological characteristics of *Parashorea chinensis* seedlings[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(6): 110-115. (in Chinese)
- [20] 魏国余, 亢亚超, 廖曦, 等. 配方施肥对红锥幼林生理及叶片养分含量的影响[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(4): 32-36.
WEI G Y, KANG Y C, LIAO X, *et al.* Effects of formula fertilization on the physiology characteristics and leaf nutrition contents of young *Castanopsis hystrix* stands[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(4): 32-36. (in Chinese)
- [21] 栗春青. 氮磷钾配比对假苹婆生长生理及土壤肥力特征的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2020.
- [22] 付晓凤, 王莉娜, 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 F, WANG L S, ZHU Y, *et al.* Effects of different fertilization treatments on the growth and physiological characteristics of *Horsfeldia hainanensis* Merr. seedlings[J]. Plant Science Journal, 2018, 36(2): 273-281. (in Chinese)
- [23] 刘福妹, 姜静, 刘桂丰. 施肥对白桦树生长及开花结实的影响[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(2): 116-120.
LIU F M, JIANG J, LIU G F. Effects of fertilization on the growth and flowering of *Betula platyphylla*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(2): 116-120. (in Chinese)
- [24] 吴焦焦, 田秋玲, 乐佳兴, 等. 黄栌叶片光合特性对氮磷钾配施的响应[J]. 北京林业大学学报, 2021, 43(2): 63-71.
WU J J, TIAN Q L, YUE J X, *et al.* Response of leaf photosynthetic characteristics of *Cotinus coggygia* to combined application of mineral nitrogen, phosphorus and potassium[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2021, 43(2): 63-71. (in Chinese)