

朱成豪,唐健民,韦 霄,等. 不同光强对药食两用鳞尾木幼苗生长及光合特性的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(8):174-178.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.08.032

不同光强对药食两用鳞尾木幼苗生长 及光合特性的影响

朱成豪^{1,2}, 唐健民², 韦 霄², 高丽梅², 邹 蓉², 秦惠珍²

(1. 桂林医学院药学院, 广西桂林 541004; 2. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 广西桂林 541006)

摘要:为探讨适宜鳞尾木这一特有药用野菜生长的光照环境,并为其人工栽培提供有益参考和科学依据,以 2 年生鳞尾木扦插苗为试验材料,设置 10%、30%、50%、100% 的光照梯度,研究鳞尾木在不同光强下的生长与光合特性。结果表明:一定程度的遮阴更有利于鳞尾木幼苗的生长,50% 光照下鳞尾木的株高、地径及冠幅的增长量均高于其他 3 种水平;不同光强对鳞尾木的光合特性影响明显,50% 光照有利于提高鳞尾木的气孔导度和蒸腾速率。50% 遮阴率是鳞尾木生长的适宜条件,而强光或者弱光会对其形成光抑制或弱光胁迫,进而影响其生长。

关键词:鳞尾木;幼苗生长;光合特性;人工栽培;光照

中图分类号: S567.1⁺90.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)08-0174-05

光照是植物生长发育、形态建成中重要的环境调控因子之一,对植物的生长发育^[1]、光合特性^[2]、生理代谢^[3]、品质形成^[4]等具有重要的影响。植物只有在合适的光强下才能更好地生长,光强过弱,植物会出现徒长、叶片变大、变薄等不良症状^[5];光强过强,植物则会出现萎蔫、叶片变小、变厚等不良症状^[6]。适当改变光照强度可在一定程度上促进植物的生长发育及次生代谢产物的合成。例如:弱光条件有利于喜树碱的合成与积累^[7];低光照可提高长春花叶片中文朵灵碱和长春质碱含量,而抑制长春碱的合成^[8];75% 光照条件可促进喜树植株生长,提高光合速率^[9];78% 光照条件有利于老鸦瓣产量的积累^[10]。植物种类不同对光照强度的需求量及其最佳生长光强也不同,同一植物在不同生长阶段对光强的需求及其最佳光照条件也不同^[11]。可见,研究不同光照对植物生长和光合特性的影响对提高植物产量、品质及人工栽培的可实现性尤为重要。

鳞尾木(*lepionurus sylvestris* Bl.)系山柚子科(Opiliaceae)鳞尾木属(*Lepionurus* Bl.)灌木或常绿小乔木植物,别称山芥兰、甜菜树^[12]。我国有 1 种,主要分布在云南东南部与广西西南部,多见生长于河谷密林或石缝间隙中,常被当地居民当作一道味道鲜美的野菜食用。鳞尾木不仅可以食用,因其含有丰富的营养成分及具有活性的化学成分,也具有极高的药用价值,被用来预防心脑血管疾病、糖尿病、改善肾功能等。目前,关于鳞尾木的研究主要集中于分布地调查研究^[13-14]、营养成分研究^[15]、抗氧化活性研究^[16-17]、核型研究^[18]、组织培养研究^[19]等。鳞尾木本身资源稀少、人为栽培困难^[20],有关光强对鳞尾木的生长动态、光合特性的影响研究尚未见报道。本研究主要探讨不同光照条件下鳞尾木的形态结构与光合特性的差异,以及其生长动态和光合特性对生长环境光强变化的响应和适应机制,进而为鳞尾木的人工栽培提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验所在地为广西植物研究所特色经济植物研究中心的场地大棚内,110°18'N,25°04'E,海拔 175 m,属于亚热带季风气候区。年平均日照时数为 1 680 h,年平均气温为 23.5℃,年平均降水量 1 949.5 mm,年平均无霜期 300 d,年平均相对湿度为 82%。该地区气候温和,雨量充沛,光照充足。

收稿日期:2019-04-12

基金项目:广西科技基地和人才专项(编号:桂科 AD17129022);桂林市科技成果转化与推广项目(编号:20140115-1);广西植物研究所基本业务经费(编号:桂植业 18013、桂植业 18014)。

作者简介:朱成豪(1994—),男,河南商丘人,硕士研究生,主要从事中药资源开发及检验工作。E-mail:medicalzch@163.com。

通信作者:邹 蓉,副研究员,主要从事保护生物学研究。E-mail:175183030@qq.com。

1.2 试验材料与方法

所用材料为 2 年生鳞尾木扦插苗,选择幼苗大小基本一致,平均株高 17.9 cm。试验于 2017 年 1 月 20 日将鳞尾木移植于 10 L 塑料花盆中。栽培基质为砂页岩及第四纪红土发育的酸性土壤, pH 值 4.7~6.5,土壤中氮、钾、镁含量高,有机质含量较高,质地为黏土。植株恢复生长后,于 2 月 20 日开始处理,共处理 449 d,整个试验期间加强病虫害防治和施肥浇水等管理。试验共进行 4 个处理,每个处理共 10 株幼苗。用黑色遮阳网进行遮阴,按照遮阳网的不同密度调节光照强度,建立 3 层遮阴(L10,约全光照的 10%)、2 层遮阴(L30,约全光照的 30%)、1 层遮阴(L50,约全光照的 50%)、不遮阴对照组(L100,全光照)4 个不同遮阴棚。每个处理 10 株幼苗,共 40 株。

1.3 数据采集与处理

1.3.1 数据采集 2018 年 4 月 17 日至 2018 年 12 月 17 日每隔 60 d 进行生长检测,每次检测 6 株,用直尺测量株高和冠幅(东西、南北 2 个方向),用钢制游标卡尺测量地径,分别记录数据。光合速率的测定选在 12 月 22 日 08:00,选取不同植株的相同部位的功能叶利用 Li-6400(LI-COR, Lincoln, USA)便携式光合作用系统测定。

1.3.2 数据处理 冠幅 = $\sqrt{\text{东西冠幅} \times \text{南北冠幅}}$ 。分别计算 6 株的地径、株高、冠幅的平均值,按照月份进度对 4 种不同光照条件进行差异比较。

光响应曲线的测定具体过程如下:测量前将待测叶片在 $1\,000\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光强下诱导 30 min(仪器自带的红蓝光源)以充分活化光合系统。使用开放气路,空气流速为 $0.5\ \text{L}/\text{min}$,叶片温度为 $28\ ^\circ\text{C}$, CO_2 浓度为 $400\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ (用 CO_2 钢瓶控制浓度)。设定的光照度梯度为 2 000、1 800、1 500、1 200、1 000、800、600、400、200、150、100、50、 $0\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,测定时每一光强下停留 3 min,以光量子通量密度(PFD)为横轴、净光合速率(P_n)为纵轴绘制光合作用光响应曲线(P_n -PFD 曲线),依据 Thornley 的方法^[21]拟合 P_n -PFD 的曲线方程:

$$A_n(I) = \frac{\alpha I + A_{\max} - \sqrt{(\alpha I + A_{\max})^2 - 4\theta\alpha I A_{\max}}}{2\theta} - R_d \quad (1)$$

式中: $A_n(I)$ 为净光合速率, I 为光强, θ 为曲线的曲率, α 为植物光合作用对光响应曲线在 $I=0$ 时的斜率,即光响应曲线的初始斜率,也称为初始量子效

率, A_{\max} 为最大净光合速率, R_d 为暗呼吸速率。光补偿点(LCP)和光饱和点(LSP)是利用低光条件下 [$PFD \leq 200\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 的 P_n 与 PFD 构建线性方程($P_n = mPFD + n$, $LCP = -n/m$, $LSP = (P_{\max} - n)/m$) 所得^[22];表观量子效率(AQY)为 $0 \sim 100\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光照度范围内净光合速率与光照度直线方程的斜率^[23]。

本试验还测定了不同光照处理下的蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、胞间二氧化碳浓度(C_i)等参数,同时记录光合有效辐射(PAR)和大气 CO_2 浓度(C_a)等环境参数,并据此计算气孔限制值(L_s) = $1 - C_i/C_a$ 、瞬时水分利用效率(WUE) = P_n/T_r ^[24],作出显著性差异表进行比较。

借助 Excel 软件进行原始数据的相关计算,用 SPSS 22.0 对数据进行 one-way ANOVA 分析($P < 0.05$),用光合计算 4.1.1 软件辅助计算光响应曲线拟合值,利用 Sigma-Plot 12.5 绘制图形。

2 结果与分析

2.1 不同光照度处理对鳞尾木幼苗生长特性的影响

地径、株高、冠幅是衡量优质苗木出圃的重要标准。由表 1 可看出,不同光照下,鳞尾木的地径、冠幅存在较大差异($P < 0.05$)。由图 1 可知,4 种处理以 L50 处理下生长最佳,地径生长量由最初的 0.27 mm 生长到 12 月的 0.44 mm,增长了 63%,而 L100、L30、L10 增长了 17%、40%、30%,总体表现为 $L50 > L30 > L10 > L100$ 。各处理的株高生长均呈现不同程度的增长,其中以 L50 处理下增长趋势最为明显,由 4 月的 12.8 cm 生长到了 12 月的 19.9 cm,增长了 55.5%,其次是 L30、L10,而 L100 处理下增长量最低,增长趋势不明显,仅从 12.3 cm 生长到了 17.9 cm,增长了 45.5%,总结果为 $L50 > L100 > L30 > L10$ 。冠幅的生长变化最大,10 月到 12 月的生长趋势降低,可能是由于鳞尾木幼苗落叶或基部老叶脱落,影响了数据的测量导致,整个测量周期内,L100、L50、L30、L10 冠幅的增长率分别为 8%、33%、25%、15%,结果表现为 $L50 > L30 > L10 > L100$ 。以上结果说明一定的遮阴会对幼苗生长产生有利影响,本试验中以 L50 处理对鳞尾木的生长产生最佳影响,可能是由于过分光照会引起植株体内发生光抑制现象,过剩的光能会引起植物体内光化学效率的降低,光照过低又会引起弱光胁

表 1 不同光照度处理下鳞尾木幼苗的生长变量

相对光照度 (%)	地径 (mm)	株高 (cm)	冠幅 (cm)
100	0.338 ± 0.063b	17.929 ± 1.392a	14.228 ± 1.217b
50	0.441 ± 0.075a	19.900 ± 1.320a	17.572 ± 0.573a
30	0.388 ± 0.058ab	17.143 ± 1.170a	18.639 ± 0.763a
10	0.369 ± 0.074b	16.769 ± 1.267a	16.893 ± 1.037a

注:表中数据以平均数 ± 标准偏差表示;同列中不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。表 3 同。

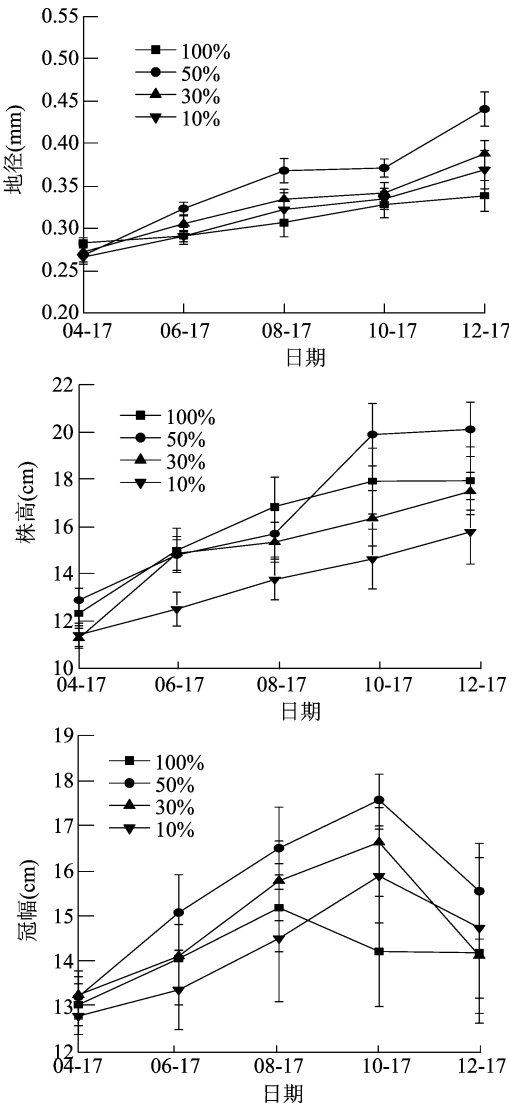


图 1 不同光照处理对鳞尾木生长量的影响

迫,抑制花芽分化,从而延缓植物的生长效率。

2.2 不同光照度处理对鳞尾木幼苗光合-光响应曲线的影响

光合作用是反映植物生长好坏的重要指标,而光响应曲线可反映植物 P_n 随 PFD 增加的变化规律。由图 2 可知,不同光照度环境下鳞尾木的光

合-光照度响应曲线随光照度的增加变化趋势一致,但 P_n 大小存在明显差异,其中生长在 50% 光照下的鳞尾木净光合速率(P_n)最高,其次为 100%、30%、10% 光照下的净光合速率最低,当 PFD 为 0 时, P_n 均为负值,随 PFD 的增加,净光合速率(P_n)逐渐增加,净光合速率低说明同化能力弱,不利于苗木生长,净光合速率高说明同化能力强,能够吸收较多的光能,制造较多的有机物,有利于植株较好地生长。因此 50% 光照下较适宜鳞尾木的生长。

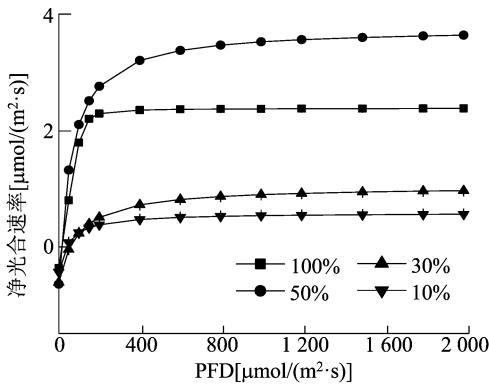


图 2 不同光强下鳞尾木叶片的光合-光强响应曲线 (均值 ± 标准误)

2.3 不同光照度处理对鳞尾木叶片气体交换参数的影响

由表 2 可知,不同处理下鳞尾木 LCP 差异较大,其中 L30 和 L50 处理下的 LCP 值要低于 L10 和 L100,这说明鳞尾木在前两者环境下达到较小的光照强度就能开始积累干物质,更有利于植株的生长。另外 L50 处理下生长的鳞尾木最大净光合速率值(P_{max})、暗呼吸速率(R_d)、表观量子效率(AQY)均高于其他处理,这说明随着光照强度的升高,鳞尾木对过强光和过弱光的利用能力都减弱,光照过强或者过弱都不利于其生长。

从表 3 可知,鳞尾木的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、水分利用率(WUE)和气孔限制值(L_s)在不同光照处理下的数据均存在显著差异,除了 L50 处理下的鳞尾木 C_i 数据低于其他 3 种处理外,另 5 项数据均高于其他 3 种处理, C_i 降低说明叶片固定 C 的能力提高。植株叶片的气孔导度下降的同时,叶片蒸腾速率也开始下降,而水分利用效率却提高,表明光照的改变,使叶片气孔导度下降,虽然在某种程度上减少了 CO_2 的吸收,影响了光合速率,但气孔导度的下降也伴随水分蒸腾速率的降低,提高保水能力,使水分利用效率得到一定的提高,积累光合产物。

表 2 不同光照度处理下鳞尾木叶片的气体交换参数

相对光照度 (%)	表观量子效率 AQY (mmol/mol)	最大净光合速率 P_{\max} [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	暗呼吸速率 R_d [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	光补偿点 LCP [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	光饱和点 LSP [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	相关系数 r
100	0.024	2.77	0.368	317.55	851.26	0.99
50	0.066	4.44	0.647	161.24	469.13	0.99
30	0.017	1.66	0.616	182.21	413.99	0.95
10	0.020	1.03	0.438	386.61	828.28	0.96

表 3 不同光照度处理下鳞尾木叶片的气体交换参数

相对光照度 (%)	P_n [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	G_s [$\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	C_i ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)	T_r [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	WUE ($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)	气孔限制值 L_s
100	1.99 ± 0.84b	0.045 ± 0.012b	333.43 ± 42.41ab	1.44 ± 0.64a	1.252 ± 0.600a	0.168 ± 0.127ab
50	2.79 ± 1.26a	0.076 ± 0.007a	314.15 ± 52.21b	1.52 ± 0.14a	1.819 ± 0.833a	0.177 ± 0.084a
30	0.58 ± 0.49c	0.040 ± 0.005b	340.71 ± 26.70ab	0.53 ± 0.07b	1.213 ± 1.029a	0.133 ± 0.629ab
10	0.37 ± 0.29c	0.021 ± 0.004b	353.98 ± 13.71a	0.75 ± 0.11b	0.489 ± 0.380b	0.098 ± 0.035b

由此得出,鳞尾木在 4 种不同光照下生长,以 50% 光照最为适宜。

3 讨论与结论

光照环境会直接影响到植物的代谢分配和光合作用^[25],植物长时间内生活在不同光环境下,会以自身变化来适应所处的环境^[26],一般来讲,光照增加有利于植物的生长和生物量积累,但一些植物幼苗的生物量积累存在着一个最佳光照度范围,过强的光照反而抑制植物的生长^[27],造成叶片灼伤等不利影响,而长期处于过弱的光照环境下,新生出的叶片变小,叶色变浅,植株出现徒长现象。施爱萍等认为 50% 以上遮阴不利于干物质积累,随着光照度的减弱,各生物量(叶、叶柄、根)迅速减少^[28-29];对重楼(*Paris polyphylla*)^[30-31]和半夏(*Pinellia ternata*)^[32]的研究也表明其在适宜的遮光下生长良好。本研究表明,不同光照度对鳞尾木幼苗生长的影响明显,50% 遮阴处理下,鳞尾木的株高、地径、冠幅均高于其他 3 种光照处理,这与易伟坚等的研究结果^[33-36]基本一致,说明一定程度的遮阴能够促进鳞尾木幼苗的生长,光照过强和过弱均不利于植株生长,可能是由于光照充足引起植株体内产生光抑制现象,严重减缓植株的生长速率^[37]。一定遮阴处理下的苗木干物质积累分配机制会根据光照度的变化进而改变植物的生长环境,并影响植物营养物质的吸收及其体内有机产物的重新分

配等一系列生理过程,从而更有利于植株各器官的干物质积累^[38]。

光响应曲线及各光合指标变化是植物光合特性研究的主要内容^[39],在不同光照环境下,鳞尾木的净光合速率(P_n)和相关参数呈升高趋势,其中 50% 光照处理下的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)、水分利用率(WUE)均高于其他处理组,也一定程度上说明遮阴会提升植株叶片的净光合速率、水分利用率、气孔导度、蒸腾速率以及固碳能力。经过研究表明,鳞尾木的一些光合特性值在自然条件下都具有了一定的特征值,包括净光合速率,气孔导度以及胞间 CO_2 浓度以及蒸腾速率等,前人研究表明并不是高光照度更能促进植株的光合作用,有时反而会对其产生抑制作用,从而减缓植株的整体生长。综上所述,不同的光照强度对鳞尾木幼苗的生长和光合特性的影响明显,整体来看鳞尾木在 10% ~ 100% 的光照下均能生长,对光的适应性较广,但光照度过强或者过弱对鳞尾木的生长造成了严重阻碍作用,鳞尾木的自然生长环境大多为河谷密林或者石缝间隙中,本研究表明一定程度的遮阴(50% 光照)为鳞尾木生长的适宜光照环境,在育苗时要及时遮阴处理或者林下栽培,以利于苗木增长。

参考文献:

[1] Zavala J A, Ravetta D A. Allocation of photoassimilates to biomass,

- resin and carbohydrates in *Grindelia chilensis* as affected by light intensity[J]. *Field Crops Research*, 2001, 69(2): 143–149.
- [2] Rezaei S, Etemadi N, Nikbakht A, et al. Effect of light intensity on leaf morphology, photosynthetic capacity, and chlorophyll content in sage (*Salvia officinalis* L.) [J]. *Korean J Hort Sci Tech*, 2018, 36(1): 46–57.
- [3] Higashiuchi K, Uno Y, Kuroki S, et al. Effect of light intensity and light/dark period on iridoids in *Hedyotis diffusa* [J]. *Environ Contr Biol*, 2016, 54(2): 109–116.
- [4] Li A, Li S, Wu X, et al. Effect of light intensity on leaf photosynthetic characteristics and accumulation of flavonoids in *Lithocarpus litseifolius* (Hance) Chun. (Fagaceae) [J]. *OJF*, 2016, 6(5): 445–459.
- [5] 战吉成, 黄卫东, 王利军. 植物弱光逆境生理研究综述[J]. *植物学通报*, 2003, 20(1): 43–50.
- [6] Matos F S, Wolfgramm R, Cavatte P C, et al. Phenotypic plasticity in response to light in the coffee tree [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2009, 67(2): 421–427.
- [7] 周 昕, 汪贵斌, 刘 琳, 等. 光强对喜树幼苗生长及喜树碱含量的影响[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2016, 4(3): 9–14.
- [8] 唐中华, 郭晓瑞, 于景华, 等. 弱光对长春花 (*Catharanthus roseus*) 幼苗中可溶性糖、生物碱及激素含量的影响[J]. *生态学报*, 2007, 27(11): 4419–4424.
- [9] Ma X, Song L, Yu W, et al. Growth, physiological, and biochemical responses of *Camptotheca acuminata* seedlings to different light environments [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2015, 6(6): 321.
- [10] 徐红建, 朱再标, 郭巧生, 等. 光强对老鸦瓣生长发育及光合特性的影响[J]. *中国中药杂志*, 2012, 37(4): 442–446.
- [11] 马 进, 王小德. 铃木属 6 种树种植物光能利用特性及耐阴性研究[J]. *西北林学院学报*, 2007, 22(4): 13–15.
- [12] 杨超本. 鳞尾木育苗及栽培技术研究 [J]. *林业调查规划*, 2008, 33(1): 116–118.
- [13] 陶德定. 台湾山柃属 (山柚子科) 的一个新组合 [J]. *广西植物*, 1993, 13(1): 8–11.
- [14] 吴征镒, 李德铎. 甜菜树属——我国云南产山柚子科一原始新属及其植物地理学意义 [J]. *云南植物研究*, 2000, 22(3): 248–250.
- [15] 吴志霜, 王跃华. 野生植物甜菜树嫩茎叶的营养成分分析 [J]. *植物资源与环境学报*, 2005, 14(1): 60–61.
- [16] 杨申明, 管春平, 王振吉, 等. 甜菜树多糖的提取工艺优化及其体外抗氧化性评价 [J]. *食品科技*, 2015(12): 154–160.
- [17] 杨申明, 王 波, 陈 靖, 等. 乙醇回流法提取甜菜树总黄酮及其抗氧化性评价 [J]. *保鲜与加工*, 2016(4): 61–66.
- [18] 薛瑞娟, 顾志建. 云南山柚子科甜菜树属的核型 [J]. *云南植物研究*, 2008, 30(5): 540–542.
- [19] 师 楠. 长蕊甜菜树组织培养研究 [J]. *云南农业科技*, 2011(2): 14–17.
- [20] 普玉明. 长蕊甜菜栽培技术初探 [J]. *热带农业科技*, 2014(2): 40–42, 46.
- [21] Thornley J H. A model of apical bifurcation applicable to trees and other organisms [J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1977, 64(1): 165–176.
- [22] 蔡建国, 韦孟琪, 章 毅, 等. 遮阴对绣球光合特性和叶绿素荧光参数的影响 [J]. *植物生态学报*, 2017, 41(5): 570–576.
- [23] Cown D J, Mcconchie D L, Young G D. Wood properties of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* grown in Fiji [J]. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 1981, 11(3): 244–253.
- [24] 徐 飞, 郭卫华, 徐伟红, 等. 不同光环境对麻栎和刺槐幼苗生长和光合特征的影响 [J]. *生态学报*, 2010, 30(12): 3098–3107.
- [25] 周忆堂. 不同光强对长春花 (*Catharanthus roseus*) 光合作用及次生代谢的影响研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [26] 张进忠, 林桂珠, 林植芳, 等. 几种南亚热带木本植物光合作用对生长光强的响应 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2005, 13(5): 413–418.
- [27] 陈圣宾, 宋爱琴, 李振基. 森林幼苗更新对光环境异质性的响应研究进展 [J]. *应用生态学报*, 2005, 16(2): 365–370.
- [28] 施爱萍. 玉簪属植物的耐阴性研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2004.
- [29] 张金政, 施爱萍, 孙国峰, 等. 玉簪属植物研究进展 [J]. *园艺学报*, 2004, 31(4): 549–554.
- [30] 刘维峰, 陈 翠, 和荣华, 等. 四种重楼属植物光合作用特征 [J]. *植物分类与资源学报*, 2013, 35(5): 594–600.
- [31] 梁 娟, 易 涛, 叶 漪. 遮阴对七叶一枝花光合特性及皂苷含量的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(4): 265–267.
- [32] 任丽华, 高秋美, 孟庆峰, 等. 不同遮阴处理对林下半夏生长及光合特性的影响 [J]. *山东农业科学*, 2017(5): 60–62.
- [33] 易伟坚, 张海东, 叶绍明, 等. 光强对格木幼苗生长及光合特性的影响 [J]. *南方林业科学*, 2018(1): 29–32.
- [34] 戴文君, 王秋思, 赵毅辉, 等. 光强对细叶云南松幼苗成活率及生长的影响 [J]. *西南农业学报*, 2017(3).
- [35] 赵 顺, 黄秋娟, 李玉灵, 等. 遮阴处理对臭柏幼苗光合特性的影响 [J]. *生态学报*, 2014, 34(8): 1994–2002.
- [36] 闫兴富, 刘建利, 贝盏临, 等. 不同光强条件下柠条锦鸡儿的种子萌发和幼苗生长特征 [J]. *生态学杂志*, 2015, 34(4): 912–918.
- [37] 刘柿良, 马明东, 潘远智, 等. 不同光强对两种桉木幼苗光合特性和抗氧化系统的影响 [J]. *植物生态学报*, 2012, 36(10): 1062–1074.
- [38] 刁俊明, 陈桂珠. 光强对无瓣海桑幼苗的生长和光合特性的影响 [J]. *林业科学研究*, 2008, 21(4): 486–492.
- [39] 徐琳煜, 刘守赞, 白 岩, 等. 不同光强处理对三叶青光合特性的影响 [J]. *浙江农林大学学报*, 2018(3): 84–92.