文章编号: 1674－7054(2021)04－0481－10

不同郁闭度和海拔高度对海南风吹楠叶片及生长指标的影响

王　鑫[1,2], 吴海霞[2], 符　溶[2], 杜尚嘉[2], 陈国德[2]
(1. 海南大学 热带作物学院, 海口, 570228; 2. 海南省林业科学研究院, 海口, 571100)

摘　要: 为探究不同回归方式对海南风吹楠(*Horsfieldia hainanensis* Merr.)生长的影响, 通过不同海拔(300、600、900 m)和不同郁闭度(0 ~ 0.2、0.3 ~ 0.5、0.6 ~ 0.8、>0.8)对 3 年生海南风吹楠进行回归种植, 观测其生长指标、叶性和叶型的变化。结果显示: (1)>0.8 郁闭度回归种植能显著降低海南风吹楠株高、地径、叶长(LL)、叶宽(LB), 对光合色素等指标无显著影响; (2)600 m 海拔处理组能显著增加株高、叶片含水量(C_{LWC})、比叶面积(S_{LAM})、叶绿素 b(*Chl* b), 对叶型指标无显著性差异。试验结果表明, 600 m 海拔和低郁闭度(0.3 ~ 0.8)回归种植有益于 3 年生海南风吹楠的生长。

关键词: 回归种植; 海南风吹楠; 珍稀濒危植物; 生长; 叶片
中图分类号: S 796　　**文献标志码:** A
引用格式: 王鑫, 吴海霞, 符溶, 等. 不同郁闭度和海拔高度对海南风吹楠叶片及生长指标的影响 [J]. 热带生物学报, 2021, 12(4): 481−490. DOI: 10.15886/j.cnki.rdswxb.2021.04.011

海南风吹楠(*Horsfieldia hainanensis* Merr.)属肉豆蔻科(Myristicaceae), 风吹楠属(*Horsfieldia*), 俗称假玉果、海南荷斯菲木、海南霍而飞、水枇杷、咪桉, 为常绿乔木, 树高可达 15 m, 在我国主要分布于云南、广西和海南等地, 平均海拔 150 ~ 1 012 m 的山谷、峰丛或丘陵荫湿的密林中[1－6]。它对研究热带雨林区系构成、地理分布和生态特征具有重要价值, 是湿润热带雨林的标识性植物之一[7－8]。由于其分布区域狭小, 雨林过度毁坏, 数量极少, 加之人为破坏和盗砍, 天然更新极差等原因, 濒临灭绝, 于 1999 年被列为国家Ⅱ级重点保护野生植物[4－6]。海南风吹楠的应用比较广泛, 有绿化、材料、添加剂和医用等价值[4]。我国对海南风吹楠的研究主要集中在林业的播种育苗技术[9] 和施肥管理[10]、生物学的种群特征[4] 和化学成分分析[2－3] 等方面, 而对于海南风吹楠的自然生境回归种植尚未见报道。对珍稀濒危植物的保护主要有就地保护、迁地保护和野外回归等方式[11]。回归自然是野生植物种群重建的重要途径, 其保护效果超出了单纯的就地保护和单一的物种保护, 能更有效地对珍稀濒危野生植物进行拯救和保护[11]。从世界范围看, 植物回归的研究与实践主要发生在植物园, 这是因为植物园可为植物回归提供全方位的知识、植物材料、技术支撑与人力资源。全世界珍稀濒危植物的回归研究主要集中在影响回归植株定居的因素、回归的遗传多样性、全球生境变化对回归的影响和成功回归的标准等 4 方面[12]。研究发现, 繁殖体类型、材料来源、种源是直接野外收集还是贮藏、种源的数量及处理、不同种群与地点的适合度、回归地点、生境观测数据、生境的处理、种植时间等都对回归植物的成功定居有影响[13]。回归时会因居群的时空隔离而导致高的遗传分化和减少遗传多样性丧失风险, 但增强型回归会导致亚种群间遗传同质化并降低遗传多样性[14－15]。在全球生境变化情况下, 回归可增加 1 个物种的分布和多度, 改进基因流, 加强复合种群动态并

收稿日期: 2021－03－18　　**修回日期:** 2021－05－19
基金项目: 海南省省属科研院所技术开发专项项目(KYYS-2019-24)
第一作者: 王鑫(1994−), 男, 海南大学热带作物学院 2018 硕士研究生. E-mail: 1079987249@qq.com
通信作者: 陈国德(1989−), 男, 硕士, 工程师. 研究方向: 珍稀濒危树种保育. E-mail: 544262097@qq.com

降低种群灭绝的风险[16]，但是，回归种群也面临着外来种入侵、生境破碎化、气候变化等影响。为了减少这些影响，拟回归物种的历史分布区不再是回归时的唯一考虑地点，可利用生境分布模型为拟回归的物种找到合适的地点开展异地回归。这类模型会考虑回归过程中的生态相似性、源种群的遗传性以及生境质量的影响 3 个重要因素[17]。关于成功回归的标准虽然还未形成共识，但一般会分为短期和长期成功。短期成功是指回归个体的成活、种群的建立和扩散，而长期成功是指回归种群能自我维持并在生态系统中发挥功能作用。最成功的回归包括产生二代个体，回归种群融入种群动态、种群遗传、个体行为、生态系统功能等生态系统过程[18]。因此，本研究通过不同海拔和郁闭度回归种植风吹楠，观测其生长指标、叶性和叶型的变化，旨在探究海南风吹楠自然回归种植的适应情况，为促进林业的可持续发展提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 试验点位于海南省五指山区域，(109°19′ ~ 109°44′E、18°38′ ~ 19°02′N)，平均海拔 328.5 m，气候温和，热带山区气候，冬暖夏凉。年平均气温 22.4 ℃ 左右，1 月份平均气温 17.0 ℃，7 月份平均气温 26.0 ℃，极端最高气温 35.9 ℃。年平均降雨量为 1 690.0 mm，极端最大年降雨量为 2 810.4 mm，极端最少年降雨量为 1 055.5 mm，年平均相对湿度为 84%，年平均日照时数约 2 000 h[19]。

1.2 试验材料 供试的海南风吹楠(*Horsfieldia hainanensis* Merr.)幼苗为生长健壮、长势一致的 3 年生实生苗。

1.3 试验设计 试验于 2019 年 4 月在海南五指山阿陀岭地势较平缓的地区进行，立地环境见表 1。根据现有环境条件设置 4 个处理组：0 ~ 0.2 郁闭度处理组；0.3 ~ 0.5 郁闭度处理组；0.6 ~ 0.8 郁闭度处理组；

表 1 试验地立地环境条件

Tab. 1 Site environmental conditions in the land under trial

立地环境 Site environment	海拔 Altitude / m		
	300	600	900
经纬度	E: 109°32′7.69″ W: 18°45′51.22″	E: 109°30′39.66″ ~ 109.30′40.33″ W: 18°49′34.64″ ~ 18°49′35.57″	E: 109°35′26.34″ W: 18°48′33.17″
坡向	南坡	东南坡	东南坡
坡度	陡坡	陡坡	陡坡
坡位	上坡	山谷	上坡
优势树种	花梨、凤凰木	马占相思	黄桐木、喜树
林分平均胸径/cm	12.326	22.353	8.358
平均株高/m	6.367	18.546	3.569
SOM/(g·kg^{-1})	13.903±9.314	32.287±17.104	54.787±6.557
pH值	5.213±0.577	5.523±0.473	4.750±0.453
AP/(mg·kg^{-1})	6.927±1.115	8.210±1.034	10.070±2.410
AK/(mg·kg^{-1})	87.130±5.117	53.403±8.208	68.220±3.296
AN/(mg·kg^{-1})	83.950±7.762	99.257±61.744	142.690±13.178
TK/(g·kg^{-1})	15.750±0.471	20.667±5.986	18.023±7.556
TN/(g·kg^{-1})	0.567±0.261	0.627±0.199	0.797±0.101
TP/(g·kg^{-1})	0.048±0.021	0.050±0.011	0.052±0.021
Wg/%	1.367±1.150	1.367±0.321	1.067±0.416

注：SOM. 土壤有机质；AP. 有效磷；AK. 速效钾；AN. 碱解氮；TK. 全钾；TN. 全氮；TP. 全磷；Wg. 含水量。

Notes: SOM. Soil organic matter; AP. Available phosphorous; AK. Available potassium; AN. Available nitrogen; TK. Total potassium; TN. Total nitrogen; TP. Total phosphorus; Wg: Water content.

>0.8 郁闭度处理组。每处理组 3 次重复, 每个重复 10 株, 并挂牌标记。同时, 将 3 年生海南风吹楠回归种植在五指山市海拔分别为 300、600、900 m 的地区, 开展不同海拔海南风吹楠回归种植试验, 每个处理为 1 个种植小区, 每个小区 3 次重复, 每个重复 10 株幼苗。

1.4　生长观测　2019 年 5 月, 开始在每个重复中固定选取 3 株, 每 2 个月采用卷尺和游标卡尺测定植株的株高(Tree Height, H)和地径(Diameter, D)。

1.5　叶片形态和性状测定　试验结束后, 于 2020 年 11 月每个重复选取 3 株, 采用手持式叶面积仪(YMJ-B, 浙江托普云农科技服份有限公司)测定海南风吹楠的叶长(Leaf long, LL)、叶宽(Leaf width, LW)、叶面积(Leaf area, LA)、长宽比(Aspect ratio, LB)。

同时, 叶片含水量(Leaf water content, C_{LWC})采用烘干法测定, 从每株幼苗上剪取功能叶片 1 片, 每个重复取 3 株, 先称量叶片鲜质量(Fresh weight, F_W), 置于烘箱中 100 ℃ 杀青 1 h, 再把温度调到 85 ℃, 直至恒重, 称量叶片干质量(Dry weight, D_W), 并计算含水量、比叶面积(Specific leaf area, S_{LAM})和比叶重(Specific leaf weight, m_{LMA})。

1.6　光合色素测定方法　光合色素含量的测定参考 GU 等[20] 和吴艳等[21] 的方法, 采用 φ=95% 乙醇法测定。从每株幼苗上剪取 1 片成熟的功能叶片, 每个重复取 3 株, 用分析天平称取 0.200 g(F_W), 剪碎并浸没于 φ=95% 乙醇, 常温暗处理 72 h 后, 直至叶片绿色退去, 用紫外可见分光光度计(UV-2400, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司)在 3 个波段测量吸光值(A), 分别为 470、649、665 nm。叶片光合色素含量的计算公式如下:

$$C_a = 13.95\times A_{665} - 6.88\times A_{649};$$
$$C_b = 24.96\times A_{649} - 7.32\times A_{665};$$
$$C_{x+c} = \frac{1\,000\times A_{470} - 2.05\times C_a - 114.8\times C_b}{245};$$
$$Chl = \frac{(C_a + C_b)\times V\times n}{F_W};$$
$$Chl\mathrm{a} = \frac{C_a\times V\times n}{F_W};$$
$$Chl\mathrm{b} = \frac{C_b\times V\times n}{F_W};$$
$$C\mathrm{aro} = \frac{C_{X+C}\times V\times n}{F_W};$$

式中: C_a 为叶绿素 a 浓度(mg·L^{-1}); C_b 为叶绿素 b 浓度(mg·L^{-1}); C_{x+c} 为类胡萝卜素浓度(mg·L^{-1}); Chl 为总叶绿素含量(mg·g^{-1}); Chla 为叶绿素 a 含量(mg·g^{-1}); Chlb 为叶绿素 b 含量(mg·g^{-1}); Caro 为类胡萝卜素含量(mg·g^{-1}); V 为提取液体积 (mL); n 为稀释倍数; F_W 为叶片取样鲜质量 (g)。

1.7　数据处理与分析　采用 Excel 2016 记录数据, 采用 IBM SPSS 26.0 软件进行方差数据分析和邓肯显著性检验, 用 OriginPro 2021 软件作图。所有试验数据均采用均值±标准差展示。

2　结果与分析

2.1　不同郁闭度对回归种植的海南风吹楠的影响

2.1.1　不同郁闭度对回归种植的海南风吹楠株高的影响　不同郁闭度对回归种植的 3 年生海南风吹楠株高的影响如图 1 所示, 各处理组均表现出株高增加的趋势, 各处理组之间在 2019 年 5 月海南风吹楠株高无显著性差异。在 2019 年 5 月份后, 均表现出>0.8 郁闭度处理组株高最小值, 在 2019 年 7 月、9 月、11 月、翌年 1 月、3 月、5 月分别为 25.003、26.513、26.233、27.433、26.933、32.933 cm, 其他处理组株高分别比 2019 年 7 月份多 24.528%、21.859%、28.550%, 2019 年 9 月, 其他处理组分别是>0.8 郁闭度处理组的 1.427、1.461、1.433 倍, 2019 年 11 月, 其他处理组分别是>0.8 郁闭度处理组株高的 1.517、1.480、1.505 倍, 翌年 1 月, 其他处理组分别是>0.8 郁闭度处理组的 1.578、1.547、1.527 倍, 翌年 3 月, 其他处理

组分别是>0.8 郁闭度处理组的 1.522、1.527、1.470 倍，翌年 5 月，其他处理组分别是>0.8 郁闭度处理组的 1.552、1.556、1.521 倍，在 9 月、11 月、翌年 1 月均表现出极显著小于其他处理组，7 月、翌年 3 月和 5 月，与其他处理组表现出显著性差异。说明较大(>0.8)郁闭度回归种植下对 3 年生海南风吹楠的株高增加不利。

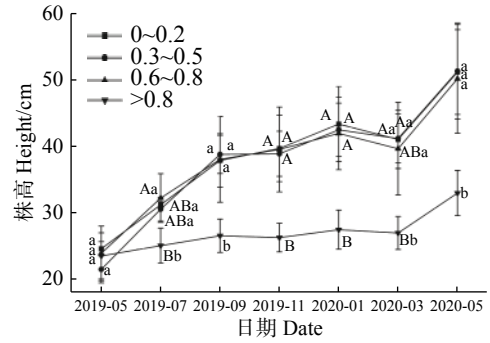

图 1 不同郁闭度对回归种植的海南风吹楠株高的影响

不同大写字母表示 0.01 水平下的极显著性差异；不同小写字母表示 0.05 水平下的显著性差异。下同。

Fig. 1 Effects of different canopy densities on the plant height of *H. hainanensis* Merr. reintroduced

Different capital letters indicate highly significant difference at the 0.01 level; different lowercase letters indicate significant difference at the 0.05 level. Similarly hereinafter.

2.1.2 不同郁闭度对回归种植的海南风吹楠地径的影响 从图 2 可知，各处理组地径在一年中均呈现增长趋势，在 2019 年 5、7 月，各处理组之间无显著性差异。2019 年 9 月，>0.8 郁闭度处理组的地径达到最小值，为 7.349 mm，0 ~ 0.2、0.3 ~ 0.5、0.6 ~ 0.8 郁闭度处理组地径分别是>0.8 郁闭度处理组的 1.145、1.099、1.126 倍，与>0.8 郁闭度处理组相比较，表现出差异显著性。2019 年 11 月份>0.8 郁闭度处理组的地径达到最小值，为 7.735 mm，0.6 ~ 0.8 郁闭度处理组地径达到最大值(9.360 mm)，是>0.8 郁闭度处理组的 1.210 倍，并且两者之间表现出差异显著性。翌年 1 月，>0.8 郁闭度处理组的地径是最小值(8.233 mm)，0 ~ 0.2、0.3 ~ 0.5、0.6 ~ 0.8 郁闭度处理组地径分别是>0.8 郁闭度处理组的 1.259、1.278、1.267 倍，并都与>0.8 郁闭度处理组表现出差异显著性，翌年 3 月，0 ~ 0.2 郁闭度处理组达到最大值，为 12.263 mm，是>0.8 郁闭度处理组的 1.247 倍，两者之间表现出差异显著性。翌年 5 月，0 ~ 0.2、0.3 ~ 0.5、0.6 ~ 0.8 郁闭度处理组地径达到最大值，分别为 13.159、12.851、12.550 mm，是>0.8 郁闭度处理组的 1.357、1.325、1.294 倍，存在差异显著性，说明较高(>0.8)郁闭度回归种植不利于 3 年生海南风吹楠地径的增加。

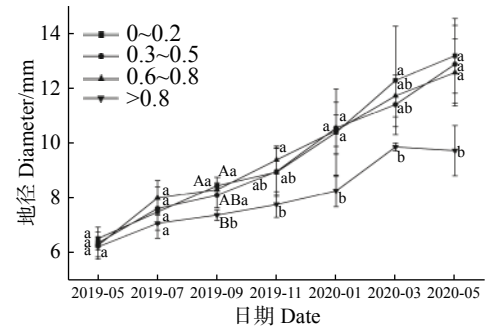

图 2 不同郁闭度对回归种植的海南风吹楠地径的影响

Fig. 2 The influence of different canopy closures on the ground diameter of *H. hainanensis* Merr. reintroduced

2.1.3 不同郁闭度对回归种植的海南风吹楠叶片的影响 从表 2 可知，可知，不同林分郁闭度对 3 年生海南风吹楠叶片的 LS、LW、C_{LWC}、S_{LAM}、m_{LMA} 均无显著性影响，>0.8 郁闭度处理组的叶长最小，为 265.877 cm，而 0 ~ 0.8 郁闭度处理组的叶长表现出较大值，分别为 369.453、367.110、381.067 cm，是>0.8 郁闭度处理组的 1.390、1.381、1.433 倍。>0.8 郁闭度表现出显著小于其他处理组。长宽比的表现与叶长相似，>0.8 郁闭度处理组极显著小于 0 ~ 0.8 郁闭度处理组，并且 0 ~ 0.2、0.3 ~ 0.5、0.6 ~ 0.8 郁闭度处理组是>0.8 郁闭度处理组的 1.184、1.227、1.227 倍。表明高(>0.8)郁闭度回归种植能够显著降低叶长，极显著减小长宽比。

2.1.4 不同郁闭度对回归种植的海南风吹楠光合色素的影响 从表 3 可知，不同郁闭度回归种植对 3 年生海南风吹楠 *Chl*、*Chl*a 含量、*Chl*b 含量以及 *Chl*a/b 无显著性差异，只表现在不同郁闭度回归种植对 3 年生海南风吹楠 *C*aro 含量影响不同，表现为 0.3 ~ 0.5 郁闭度处理组的 *C*aro 含量是 0 ~ 0.2 郁闭度处理组的 1.605 倍，相比较两者之间表现出差异显著性。表明不同郁闭度对回归种植的 3 年生海南风吹楠的光合色素影响不大。

2.1.5 不同郁闭度土壤养分分析 从表 4 可知，各郁闭度处理组的 SOM、AP、AN、TK、TN、TP、Wg 无差异显著性，>0.8 郁闭度处理组的 pH 值显著大于 0 ~ 0.2 郁闭度，但均在 6.5 以下，属于酸性土壤，AK 表

表 2　不同郁闭度对回归种植的海南风吹楠叶片性状和形状的影响

Tab. 2　Effects of different canopy closures on the leaf traits and shapes of *H. hainanensis* Merr. reintroduced

叶片形状与性状指标 Leaf shape and trait indicators	郁闭度 Canopy closure			
	0 ~ 0.2	0.3 ~ 0.5	0.6 ~ 0.8	>0.8
叶面积(LS)/cm^2	446.770±161.408 a	372.357±52.274 a	453.248±202.567 a	274.014±184.981 a
叶长(LL)/mm	369.453±44.521 a	367.110±19.620 a	381.067±57.445 a	265.877±71.885 b
叶宽(LW)/mm	163.647±33.243 a	155.560±14.519 a	166.910±33.531 a	137.603±34.802 a
长宽比(LB)	2.277±0.188 A	2.360±0.096 A	2.360±0.125 A	1.923±0.064 B
叶片含水量(C_{LWC})/%	83.467±4.867 a	78.797±0.254 a	80.347±0.672 a	79.420±4.421 a
比叶面积(S_{LAM})/($cm^2 \cdot g^{-1}$)	176.039±55.072 a	139.765±17.650 a	153.537±3.543 a	161.911±43.276 a
比叶重(m_{LMA})/($g \cdot m^{-2}$)	0.601±0.159 a	0.723±0.085 a	0.652±0.015 a	0.645±0.154 a

表 3　不同郁闭度对回归种植的海南风吹楠光合色素的影响

Tab. 3　Effects of different canopy densities on photosynthetic pigments of *H. hainanensis* Merr reintroduced

光合色素 Photosynthetic pigment	郁闭度 Canopy closure			
	0 ~ 0.2	0.3 ~ 0.5	0.6 ~ 0.8	>0.8
总叶绿素(*Chl*)/($mg \cdot g^{-1}$)	0.725±0.179 a	1.070±0.269 a	1.064±0.258 a	1.119±0.107 a
叶绿素a(*Chl*a)/($mg \cdot g^{-1}$)	0.410±0.079 a	0.677±0.220 a	0.617±0.158 a	0.648±0.095 a
叶绿素b(*Chl*b)/($mg \cdot g^{-1}$)	0.315±0.101 a	0.393±0.086 a	0.448±0.101 a	0.471±0.065 a
叶绿素a/b(*Chl*a/b)	1.355±0.230 a	1.747±0.470 a	1.371±0.065 a	1.402±0.329 a
类胡萝卜素(*C*aro)/($mg \cdot g^{-1}$)	0.081±0.014 b	0.130±0.031 a	0.108±0.023 ab	0.108±0.017 ab

表 4　不同郁闭度试验土壤养分分析

Tab. 4　Analysis of soil nutrients of the land under trial at different canopy closures

土壤养分 Soil nutrients	郁闭度 Canopy closure			
	0 ~ 0.2	0.3 ~ 0.5	0.6 ~ 0.8	>0.8
土壤有机质(SOM)/$(g \cdot kg)^{-1}$	27.200±4.572 a	25.748±1.003 a	32.289±17.103 a	24.665±9.407 a
pH值	5.497±0.166 b	5.533±0.031 ab	5.523±0.473 ab	6.040±0.180 a
有效磷(AP)/($mg \cdot kg^{-1}$)	8.299±2.841 a	7.219±0.947 a	8.208±1.034 a	7.621±2.840 a
速效钾(AK)/($mg \cdot kg^{-1}$)	85.644±8.376 A	48.915±10.000 B	53.405±8.211 B	80.614±9.186 A
碱解氮(AN)/($mg \cdot kg^{-1}$)	108.725±6.150 a	109.538±2.987 a	99.254±51.739 a	98.632±20.060 a
全钾(TK)/($g \cdot kg^{-1}$)	20.945±1.174 a	21.841±3.518 a	20.669±5.986 a	23.633±6.766 a
全氮(TN)/($g \cdot kg^{-1}$)	0.563±0.037 a	0.642±0.050 a	0.627±0.196 a	0.566±0.154 a
全磷(TP)/($g \cdot kg^{-1}$)	0.048±0.002 a	0.050±0.001 a	0.050±0.001 a	0.051±0.005 a
含水量(Wg)/%	1.067±0.252 a	1.200±0.557 a	1.367±0.321 a	5.000±7.029 a

现出 0 ~ 0.2、>0.8 郁闭度处理组极显著大于其他处理组，说明各处理组之间的养分含量差异性不大。表明不同郁闭度处理组的土壤养分基本一致。

2.2　不同海拔对回归种植的海南风吹楠的影响

2.2.1　不同海拔对回归种植的海南风吹楠株高的影响　在 2019 年 7 月，处理组表现出 900 m 海拔显著

小于其他处理组，在翌年 5 月份，600 m 海拔处的海南风吹楠苗高显著大于 900 m 处海南风吹楠苗高(图 3)。说明经过长期适应后 600 m 处更适宜海南风吹楠苗高的增加。

2.2.2 不同海拔对回归种植的海南风吹楠地径的影响 从图 4 可知，各处理组地径在 2019 年 5、7、9、11 月和翌年 1、3、5 月均呈现增加的趋势。2019 年 5 月，300 m 海拔的海南风吹楠地径显著大于其他 2 个海拔，到 2019 年 9 月，只显著大于 900 m 处海南风吹楠地径，而与 600 m 处海南风吹楠无显著性差异，到翌年 1 月，600 m 处理组的海南风吹楠地径显著大于 900 m 处理组，但两者与 300 m 处理组无显著性差异。说明不同海拔对回归种植的海南风吹楠的地径影响不明显。

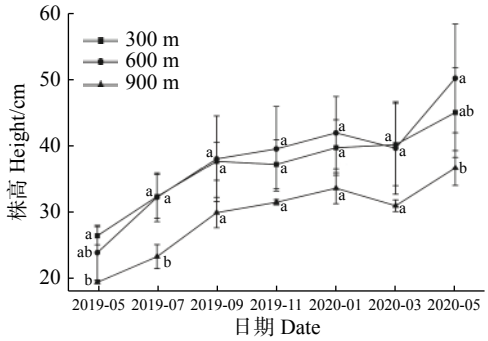

图 3 不同海拔对回归种植的海南风吹楠株高的影响

Fig. 3 Effects of different altitudes on the plant height of *H. hainanensis* Merr. reintroduced

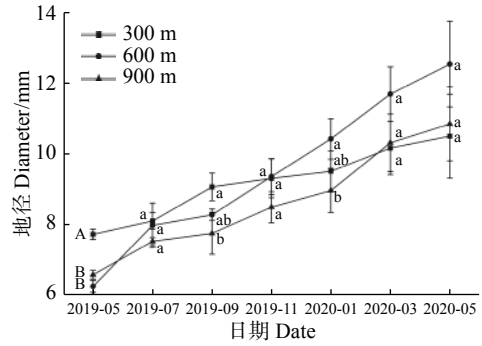

图 4 不同海拔对回归种植的海南风吹楠地径的影响

Fig. 4 The Influence of different altitudes on the ground diameter of *H. hainanensis* Merr. planted

2.2.3 不同海拔对回归种植的海南风吹楠叶片的影响 从表 5 可知，600 m 海拔的海南风吹楠叶长和长宽比达到最大值，分别为 381.067 mm 和 2.360；900 m 和 300 m 处理组的叶长显著小于 600 m 处理组，而 300 m 处理组的长宽比极显著小于 600 m 处理组，900 m 处理组显著小于 600 m 处理组。300、600、900 m 处理组间的海南风吹楠叶面积、叶宽未表现出差异显著性。不同海拔高度对海南风吹楠叶片性状的影响不同，600 m 海拔处理组的叶片含水量、比叶面积达到最大值，分别为 80.347%、153.537 $cm^2 \cdot g^{-1}$，并表现出极显著大于其他处理组，叶片含水量和比叶面积的变化均呈现出 600 m>300 m>900 m，而 900 m 处理组的比叶面积达最大值，为 111.329 $g \cdot m^{-2}$，且极显著大于其他处理组，600 m 处理组显著小于 300 m 处理组，比叶重呈现出 900 m>300 m>600 m 的规律。由此可知，600 m 海拔处理组有助于增加海南风吹楠叶片的含水量和比叶面积，900 m 海拔处理有助于增加海南风吹楠的比叶重。

表 5 不同海拔对回归种植的海南风吹楠叶片形状和性状的影响

Tab. 5 Effects of different altitudes on the leaf shape and traits of *H. hainanensis* Merr. reintroduced

叶片形状与性状指标 Leaf shape and traits	海拔 Altitudes/m		
	300	600	900
叶面积(LS)/cm^2	31 488.955±8 340.246 a	45 324.803±20 256.727 a	26 909.088±15 545.533 a
叶长(LL)/mm	290.603±26.515 b	381.067±57.455 a	281.658±58.381 b
叶宽(LW)/mm	154.363±17.085 a	166.910±33.531 a	134.203±35.936 a
长宽比(LB)	1.883±0.046 Bc	2.360±0.125 Aa	2.118±0.127 ABb
叶片含水量(C_{LWC})/%	76.300±0.733 B	80.347±0.672 A	72.435±1.609 C
比叶面积(S_{LAM})/($cm^2 \cdot g^{-1}$)	117.865±10.345 Bb	153.537±3.543 Aa	91.542±15.209 Bc
比叶重(m_{LMA})/($g \cdot m^{-2}$)	85.310±7.096 ABb	65.154±1.484 Bc	111.329±16.870 Aa

2.2.4 不同海拔对回归种植的海南风吹楠光合色素的影响 从表 6 可知，不同海拔高度对海南风吹楠的叶绿素、叶绿素 a 和类胡萝卜素差异不显著，600 m 处理组的海南风吹楠叶绿素 b 达到最大值

(0.448 mg·g^{-1}), 而叶绿素 a/b 却达到最小值 (1.371), 600 m 处理组叶绿素 b 含量显著大于 300 m 处理组, 极显著大于 900 m 处理组, 900 m 与 300 m 处理组之间无显著差异, 600 m 处理组的叶绿素 a/b 值极显著小于 900 、300 m 处理组。由此可知, 600 m 处理可以增加叶绿素 b 的含量, 降低叶绿素 a/b 的值。

表 6　不同海拔对回归种植的海南风吹楠叶片光合色素的影响

Tab. 6　Effects of different altitudes on photosynthetic pigments in the leaves of *H. hainanensis* Merr. reintroduced

光合色素 Photosynthetic pigment	海拔 Altitudes/m		
	300	600	900
总叶绿素(*Chl*)/(mg·g^{-1})	0.794±0.444 a	1.065±0.258 a	0.585±0.149 a
叶绿素a(*Chl*a)/(mg·g^{-1})	0.556±0.298 a	0.617±0.158 a	0.439±0.102 a
叶绿素b(*Chl*b)/(mg·g^{-1})	0.239±0.146 ABb	0.448±0.101 Aa	0.146±0.047 Bb
叶绿素a/b(*Chl*a/b)	2.574±0.578 A	1.371±0.065 B	3.070±0.231 A
类胡萝卜素(*C*aro)/(mg·g^{-1})	0.111±0.046 a	0.108±0.023 a	0.116±0.026 a

2.2.5　不同海拔土壤养分差异性分析　从表 7 可知, 各海拔的 pH 值、AN、TK 含量无差异显著性。900 m 处理组的土壤 SOM 含量达到最大值, 为 54.787 g·kg^{-1}, 是 300 m 处理组的 3.941 倍, 并且两者之间达到极显著差异。AK 的含量表现为 300 m 处理组达到最大值(87.130 mg·kg^{-1}), 是 600 m 处理组(53.403 mg·kg^{-1})的 1.632 倍, 是 900 m 处理组的 1.277 倍, 并表现为 300 m 处理组极显著大于 600 m 和 900 m 处理组, 900 m 处理组 AK 含量是 600 m 处理组的 1.277 倍, 两者之间表现出差异显著性, 各处理组 AK 含量大小表现为 300 m>900 m>600 m。表明各海拔处理试验的土壤养分基本一致。

表 7　不同海拔试验样地土壤养分分析

Tab. 7　Analysis of soil nutrients in the sampling plots at different altitudes

土壤养分 Soil nutrients	海拔 Altitudes/m		
	300	600	900
土壤有机质(SOM)/g·kg^{-1}	13.903±9.314 B	32.287±17.104 AB	54.787±6.557 A
pH值	5.213±0.577 a	5.523±0.473 a	4.750±0.453 a
有效磷(AP)/(mg·kg^{-1})	6.927±1.115 a	8.210±1.034 a	10.070±2.410 a
速效钾(AK)/(mg·kg^{-1})	87.130±5.117 Aa	53.403±8.208 Bc	68.220±3.296 Bb
碱解氮(AN)/(mg·kg^{-1})	83.950±7.762 a	99.257±61.744 a	142.690±13.178 a
全钾(TK)/(g·kg^{-1})	15.750±0.471 a	20.667±5.986 a	18.023±7.556 a
全氮(TN)/(g·kg^{-1})	0.567±0.261 a	0.627±0.199 a	0.797±0.101 a
全磷(TP)/(g·kg^{-1})	0.048±0.021 a	0.050±0.011 a	0.052±0.021 a
含水量(Wg)/%	1.367±1.150 a	1.367±0.321 a	1.067±0.416 a

3　讨　论

株高和地径能直接体现植物生长速度的状况, 也是植物适应环境的直观表现[22]。本研究结果显示, 较高(>0.8)郁闭度回归种植不利于海南风吹楠株高和地径的增加。因为光照作为重要的外部环境影响因素之一, 对植物的生长发育起着决定性作用[23]。在高郁闭度下, 植物受到的光照强度较小, 植物光合作用速率降低, 从而植物积累有机物的量变少, 导致海南风吹楠相对于其他低郁闭度处理组的株高和地径变小。韩春丽[24]、何小燕[25]、何晓童[26] 通过对红芸豆、油茶、脐橙的研究表明, 弱光会使植物的叶片出现发

育缓慢、叶色变淡、叶面积变大、比叶面积增大、比叶重显著减小等现象。本研究发现，高郁闭度(>0.8)回归种植能够显著降低叶长，与其研究结果相似，但也有研究表明，弱光对桃树叶面积、干湿重影响不大，叶型对光照强度的响应情况可能与树种，环境的温湿度也具有较强的相关性[27]。SINGH 等[28] 的研究结果表明，弱光胁迫下植株功能叶片总叶绿素含量和类胡萝卜素含量均上升。叶绿素 b 和类胡萝卜素含量的增加有利于吸收漫射光中的蓝紫光，使处于弱光中的植株充分对光的利用，而叶绿素 b 的含量增加得更多，会使叶绿素 a/b 的比值下降，叶绿体对 2, 6−二氯酚靛酚的还原能力增加，叶绿体光合磷酸化活性增高，从而影响植物光合作用的进行[29－30]。而本研究发现，不同郁闭度对回归种植的 3 年生海南风吹楠的光合色素影响不大。虽然其中光是影响叶绿素形成的主要环境因子，而光照、水分、温度、氧气以及营养元素都是影响叶绿体形成环境因子，不能避免。从中可知，当海南风吹楠回归种植在 0 ~ 0.8 郁闭度将会提高其生长速度，能使海南风吹楠快速适应环境。

海拔作为一个重要地形因子，环境中各种生态因子，如温度、湿度、降雨量太阳光以及紫外线辐射强度等，随着海拔的变化均会发生不同程度的变化。大量研究显示：随着海拔的升高，大多数植物叶面积逐渐减小[31]，但也会出现增大或先增大后减小的现象[32]，而叶绿素含量则随海拔的升高呈现下降趋势[33]，但也存有变化不明显的结果[34]。本研究发现，600 m 海拔处理组能显著增加株高、叶片含水量、比叶面积、叶绿素 b，对叶型指标无显著性差异，在 300 m 海南风吹楠的株高较小可能是由于氧气充足，雨量较少等自然原因造成的。而 900 m 处海南风吹楠的株高较低，但长势粗壮，原因可能是高海拔下低温，雨量充足，导致海南风吹楠长势粗壮抗逆能力比 300 m 的高。可知 600 m 海拔回归种植最适，能显著增加海南风吹楠的生长和叶型指标，使其快速适应环境。

速效钾含量是表征土壤钾素供应状况的重要指标之一。钾肥能促进植物进行光合作用，促进植物蛋白质的合成，使植物的枝叶更坚韧、厚实，还能提高植物抗病、抗寒、抗旱、抗倒伏、抗盐等抗逆性能，从而改善植物的质量，提高植物对氮元素的吸收[35]。在本研究中 0 ~ 0.2 郁闭度和>0.8 郁闭度以及 300 m 海拔的 AK 值表现出较大值，但是>0.8 郁闭度、300 m 海拔的海南风吹楠长势并不理想。由此可见，AK 相对于海拔和郁闭度，并不是主要影响因子。此外，不同海拔的 SOM 值不同，总体表现为 900 m 海拔 SOM 极显著大于 300 m 海拔处理组，300 m 和 900 m 海拔的海南风吹楠长势并不好。由此可见，SOM 相对于海拔因子不是主要影响因子。

综上可知，600 m 海拔、低郁闭度(0.3 ~ 0.8)的环境有益于 3 年生海南风吹楠苗回归种植的生长。

参考文献：

[1] 蒋迎红, 项文化, 何应会, 等. 极小种群海南风吹楠种群的数量特征及动态[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(8): 66－71.

[2] 党金玲, 杨小波, 黄运峰, 等. 海南风吹楠皮挥发油化学成分 GC-MS 分析[J]. 中药材, 2009, 32(5): 714－716.

[3] 刘寿柏, 梅文莉, 曾艳波, 等. 黎药海南风吹楠脂溶性成分研究[J]. 中国民族民间医药, 2010, 19(20): 147－149.

[4] 蒋迎红, 项文化, 蒋燚, 等. 广西海南风吹楠群落区系组成、结构与特征[J]. 北京林业大学学报, 2016, 38(1): 74－82.

[5] 钟圣赟, 陈国德, 邱明红, 等. 海南风吹楠在海南岛的地理分布与生境特征[J]. 福建林业科技, 2018, 45(1): 82－86.

[6] 蒋迎红. 极小种群海南风吹楠生态学特性及濒危成因分析[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2018.

[7] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1977: 202－204.

[8] 许玉兰, 蔡年辉, 吴裕, 等. 几种风吹楠属植物脂肪酸成分分析[J]. 中国油脂, 2012, 37(5): 80－82.

[9] 何贵整, 蔡林, 梁刚, 等. 海南风吹楠播种育苗技术[J]. 林业实用技术, 2013(6): 35－37.

[10] 付晓凤, 王莉姗, 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.

[11] 任海, 简曙光, 刘红晓, 等. 珍稀濒危植物的野外回归研究进展[J]. 中国科学: 生命科学, 2014, 44(3): 230－237.

[12] 任海. 植物园与植物回归[J]. 生物多样性, 2017, 25(9): 945－950.

[13] EOJR G, KAYE T N. Reintroduction of rare and endangered plants: common factors, questions and approaches [J]. Aus-

tralian Journal of Botany, 2007, 55(3): 362 − 370.
[14] REN H, MA G, ZHANG Q, et al. Moss is a key nurse plant for reintroduction of the endangered herb, *Primulina tabacum* Hance [J]. Plant Ecology, 2010, 209(2): 313 − 320.
[15] WANG Z F, REN H, LI Z C, et al. Local genetic structure in the critically endangered, cave-associated perennial herb *Primulina tabacum* (Gesneriaceae) [J]. Biological Journal of the Linnean Society, 2013, 109(4): 747 − 756.
[16] RICHARDSON D M. Restoring diversity: strategies for reintroduction of endangered plants [J]. South African Journal of Botany, 1997, 63(5): 303.
[17] HAI R, JIAN S G, LIU H X, et al. Advances in the reintroduction of rare and endangered wild plant species [J]. Science China Life Sciences, 2014, 57(6): 603 − 609.
[18] JELTE V A, JAMES A. Restoration Ecology: The New Frontier[M]. Hoboken: John Wiley & Sons Ltd: 2012.
[19] 王威翔. 海南省五指山市土地适宜性评价[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2014.
[20] GU Q, CHEN Z P, YU X L, et al. Melatonin confers plant tolerance against cadmium stress via the decrease of cadmium accumulation and reestablishment of microRNA-mediated redox homeostasis [J]. Plant science, 2017, 261(8): 28 − 37.
[21] 吴艳, 荣熔, 陈放, 等. 光质对珙桐幼苗形态建成及光合特性的影响[J]. 四川大学学报 (自然科学版), 2020, 57(4): 804 − 810.
[22] 曾继娟, 朱强. 水分胁迫对 3 种扁桃的生长与耗水特征的影响[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(4): 145 − 152.
[23] 刘波, 张庆费, 夏檑. 11 种城市木本植物叶片生理物质对遮荫的响应[J]. 浙江林业科技, 2007(6): 15 − 18.
[24] 韩春丽. 弱光下纽荷尔脐橙光合生理特性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
[25] 何小燕. 弱光胁迫对油茶幼林光合特性和生长的影响[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2012.
[26] 何晓童. 低温弱光对红芸豆幼苗生理及叶片结构的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018.
[27] 柳永强. 弱光对桃光合作用的影响及膜伤害机理研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2007.
[28] SINGH V P AND DEY S K. Effect of low light stress on growth and yield of rice [J]. Indian Journal of Plant Physiology, 1988, 31(1): 84 − 91.
[29] 王明, 蒋卫杰, 余宏军. 弱光逆境对植株生理特性的影响及其调控措施[J]. 内蒙古农业大学学报 (自然科学版), 2007(3): 198 − 203.
[30] 洪焕新. 浅谈弱光逆境对林木生长发育的影响[J]. 安徽农学通报, 2014, 20(15): 33 − 34.
[31] JORDAN D N, SMITH W K. Radiation frost susceptibility and the association between sky exposure and leaf size [J]. Oecologia, 1995, 103(1): 43 − 48.
[32] 席本野, 王烨, 贾黎明, 等. 宽窄行栽植模式下三倍体毛白杨根系分布特征及其与根系吸水的关系[J]. 生态学报, 2011, 31(1): 47 − 57.
[33] 韩发, 贲桂英, 师生波. 青藏高原不同海拔矮嵩草抗逆性的比较研究[J]. 生态学报, 1998, 18(6): 654 − 659.
[34] 祁建, 马克明, 张育新. 辽东栎 (*Quercus liaotungensis*) 叶特性沿海拔梯度的变化及其环境解释[J]. 生态学报, 2007, 27(3): 930 − 937.
[35] 陈相宇, 程凤科, 徐长亮, 等. 庐山土壤速效钾的垂直分布特征研究[J]. 安徽农学通报, 2012, 18(24): 98 − 101.

Effects of Different Canopy Closures and Altitudes on the Leaves and Growth Indexes of *Horsfieldia hainanensis* Merr. reintroduced

WANG Xin[1,2], WU Haixia[2], FU Rong[2], DU Shangjia[2], CHEN Guode[2]
（1. College of Tropical Crops, Hainan University, Haikou, Hainan 570228; 2. Hainan Academy of Forestry, Haikou, Hainan 571100）

Abstract: In order toTo explore the impact of different reintroduction methods on the growth of *Horsfieldia. hainanensis* Merr., three-year-old trees of *H. hainanensis* Merr. were reintroduced intoo the areas for planting at different altitudes (300, 600, 900 m) under different canopy closures (0 ~ 0.2, 0.3 ~ 0.5, 0.6 ~ 0.8, >0.8) to observe the changes in their growth indicators, leaf traits and leaf shape. The results showed that higher canopy closure (>0.8) significantly reduced the plant height, ground diameter, leaf length (LL) and leaf width (LB) of *H. hainanensis* Merr reintroduced, but had no significant effect on photosynthetic pigments and other indicators. The altitude of 600 m significantly increased the plant height, leaf water content (C_{LWC}), specific leaf area (S_{LAM}), chlorophyll b (*Chl* b) of *H. hainanensis* Merr. reintroduced, and there was no significant difference in leaf shape. It is concluded that the altitude of 600 m and the low canopy closure (0.3 ~ 0.8) is beneficial to the growth of the 3-year-old trees of *H. hainanensis* Merr. reintroduced, which provides a reference for the effective conservation and restoration of *H. hainanensis* Merr.

Keywords: reintroduction; *Horsfieldia hainanensis* Merr.; endangered plants; growth; leaves

(责任编委:吴志祥　责任编辑:潘学峰)