

冬春旱季灌溉对琴叶风吹楠光合生理的影响

李小琴, 吴裕, 张凤良*, 杨湑, 周艳

(云南省热带作物科学研究所, 云南景洪 666100)

[摘要]以琴叶风吹楠10年生实生成龄树为试验材料,对比分析了冬春旱季不同月份中,在自然生长和浇水条件下,叶片的SPAD值及相关光合生理参数的动态变化规律。结果表明,在冬春旱季不同月份,自然生长和浇水条件下叶片的SPAD值和光合生理参数均存在极显著差异。观测期间,叶片SPAD值、净光合速率、气孔导度和蒸腾速率等指标总体呈现下降趋势,其中自然生长条件下的下降速度更快,各指标均显著或极显著低于浇水处理。从11月到次年4月,自然生长条件下的净光合速率下降幅度达93.96%,光合作用近乎停滞;而浇水处理下的净光合速率降幅为69.51%,植株仍保持一定的光合能力。相关性分析显示:自然生长和浇水条件下,SPAD值、蒸腾速率、气孔导度、净光合速率和瞬时羧化效率等5个光合生理指标彼此间均呈显著或极显著正相关;SPAD值、蒸腾速率、气孔导度和净光合速率均与平均高温呈显著负相关,与湿度呈显著正相关,但与平均低温、平均降雨量和降雨天数均无显著相关性。综上表明,冬春旱季持续干旱导致琴叶风吹楠叶片光合作用趋于停滞,反映出其抗旱力较弱。该结果可为探索其濒危机理及改进栽培措施提供参考。

[关键词]琴叶风吹楠;冬春季;自然干旱;灌溉;光合生理

中图分类号:S792.99 文献标识码:A 文章编号:1672-450X(2026)02-0062-08

Effects of Irrigation during the Winter-Spring Dry Season on the Photosynthetic Physiology of *Horsfieldia pandurifolia*

LI Xiaoqin, WU Yu, ZHANG Fengliang*, YANG Tian, ZHOU Yan

Yunnan Institute of Tropical Crops, Jinghong 666100, China

Abstract: This study used 10-year-old seed-propagated mature *Horsfieldia pandurifolia* trees as experimental materials to compare the dynamic changes in leaf SPAD values and related photosynthetic physiological parameters under natural growth and irrigation conditions during different months of the winter-spring dry season. The results indicated highly significant differences in leaf SPAD values and photosynthetic physiological parameters between the natural growth and irrigation conditions across the dry season months. Throughout the observation period, metrics including leaf SPAD value, net photosynthetic rate, stomatal conductance, and transpiration rate generally exhibited a declining trend. The decline was faster under natural growth conditions, with all metrics being significantly or highly significantly lower than those under irrigation. From November to the following April, the net photosynthetic rate under natural growth conditions decreased by 93.96%, indicating a near cessation of photosynthesis. In contrast, the net photosynthetic rate under irrigation decreased by 69.51%, with the plants retaining a certain level of photosynthetic capacity. Correlation analysis indicated that under both natural growth and watering treatment conditions, five photosynthetic physiological indicators, namely SPAD value, transpiration rate, stomatal conductance, net photosynthetic rate, and instantaneous carboxylation efficiency, all showed significant or highly significant positive correlations with each other. SPAD value, transpiration rate, stomatal conductance, and

收稿日期:2025-12-15

基金项目:国家自然科学基金课题(31960289)

作者简介:李小琴(1987—),女,副研究员,硕士,研究方向为林木种质资源收集评价利用及遗传育种。

E-mail:512504431@qq.com

*通信作者:张凤良(1984—),男,副研究员,硕士,研究方向为林木遗传育种。E-mail:278540721@qq.com

net photosynthetic rate were all significantly negatively correlated with the average high temperature and significantly positively correlated with humidity, but showed no significant correlation with average low temperature, average rainfall, or number of rainy days. In summary, sustained drought during the winter-spring dry season drives the photosynthesis of *Horsfieldia pandurifolia* leaves towards stagnation, reflecting its weak drought resistance. These findings provide a reference for exploring the mechanisms behind its endangerment and for improving cultivation practices.

Key words: *Horsfieldia pandurifolia*; winter-spring season; natural drought; irrigation; photosynthetic physiology

琴叶风吹楠 (*Horsfieldia pandurifolia*) 属于肉豆蔻科 (Myristicaceae) 高大乔木。琴叶风吹楠种仁含油率高达 71%, 油中含 17 种脂肪酸, 其中十四碳酸含量约占 90%, 是比较理想的生物柴油原料, 琴叶风吹楠油作为防冷凝剂、医疗卫生产品、美容化妆品等工业产品的优质原料, 多年来一直依赖进口^[1]。琴叶风吹楠自然分布于滇西和滇西南地区, 在山间狭谷和河谷两侧原有植被较好的沟谷湿性雨林、季雨林中分布较多, 在原有植被遭破坏, 谷底无流水的次生林中则少见, 而在向阳的山坡则更稀有^[2-7]。琴叶风吹楠在云南现存野生资源总量很少, 加上人为破坏和自然灾害, 导致资源量逐年急剧减少, 现已作为濒危植物被列入《中国物种红色名录》^[8]。

课题组在野外调查时发现, 在沟谷生态退化严重的地方, 琴叶风吹楠植株开花困难, 结实率极低, 甚至成熟种子不能自然萌发, 失去种群发展的环境基础, 即使在一些单株附近长出一些小苗, 到次年 3 至 4 月后绝大部分小苗也会因干旱而无法成活。而在一些相对干旱的地区, 调查发现仅存少量单株分布, 其周围未见任何幼树或小苗, 由于其极不耐干旱的特点, 导致琴叶风吹楠自然更新困难。陈贝贝等^[9]对长白山次生杨桦林优势更新幼苗空间分布的研究表明, 假色槭 (*Acer pseudosieboldianum*) 幼苗的空间分布与土壤水分显著相关; 地力夏提·包尔汉等^[10]研究表明准噶尔盆地梭梭天然更新林里梭梭 (*Haloxylon ammodendron*) 种子萌发和幼苗生长的关键因素是 11 月、12 月及次年 4 月、5 月的降雨量; 李昌龙等^[11]模拟降水可有效改善土壤水分条件, 为黄花补血草 (*Limonium aureum*) 土壤种子萌发和种群更新提供了必要的环境条件; 张春雨等^[12]对长白山针阔混交林种群结构及环境解释研究发现, 长白山森林群落内水曲柳 (*Fraxinus mandshurica*) 幼苗

和幼树的空间分布与土壤水分密切相关; 高文礼等^[13]研究表明, 多枝柽柳 (*Tamarix ramosissima*) 种群幼苗的更新存活关键还是要要在第 1 次输水期后及早地扎深根系、快速生长, 从而有效面对后期的干旱胁迫, 顺利度过脆弱的幼苗期。总结前期的研究结果可知, 水分胁迫和干旱是导致种群幼苗自然更新困难的重要原因。近年来, 云南冬春季干旱越来越严重, 琴叶风吹楠在常规造林下, 即使在第 1 年通过人工浇水使其成活, 等到第 2 年再去调查, 发现植株几乎全部干死。干旱的加剧俨然成为造成琴叶风吹楠濒危的主要影响因子之一及其人工造林的严重制约因子。

目前有关琴叶风吹楠的研究报道多见于系统分类学、资源调查、繁殖实验、油脂成分以及遗传多样性等方面^[14-21], 而关于适应性评价, 特别是随着冬季低温及季节性干旱的加剧, 琴叶风吹楠叶片衰老过程中的光合生理研究尚未见报道。本研究以琴叶风吹楠 10 年生实生成龄树为材料, 对其冬春季不同月份叶片的光合生理参数及 SPAD 值进行了跟踪观测, 并设计了灌溉试验, 同期测定浇水条件下叶片的光合生理参数和 SPAD 值, 分析琴叶风吹楠在冬春旱季期间自然生长及浇水条件下各生理参数的变化情况, 以期对琴叶风吹楠干旱适应性的机理研究提供理论基础。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于云南省热带作物科学研究所苗圃地内 (21° 59' ~ 22° 01' N, 100° 40' ~ 100° 50' E), 海拔约 550 m, 年平均气温 18.6 ~ 21.9 °C, 最冷月份平均气温 15.6 °C, 最热月份平均气温 25.2 °C, 年平均降雨量约 1 200 mm, 土壤为酸性红土, pH 值 4.5 ~ 5.5, 适合琴叶风吹楠正常生长。

1.2 材料与处理

试验材料为琴叶风吹楠10年生实生成龄树,为2014年从云南省西双版纳州琴叶风吹楠野生分布区收集到的成熟种子繁育而来,种植行距为3 m×6 m,按常规管理,植株生长良好。2024年10月分作两个处理:处理1为自然生长处理;处理2为浇水处理。根据前期预试验结果,间隔10 d浇透水的植物均正常开花和抽生新叶,本试验浇水处理采取每隔10 d浇透水。2024年11月至2025年4月,每个月中旬对各处理植株叶片的SPAD值和光合生理参数进行测定。

1.3 测定方法

1.3.1 SPAD值的测定

选择晴朗无风的上午9:00—11:00,使用SPAD-502型便携式叶绿素仪(Minolta, Japan),选择植株向阳面的中部枝条,选取枝条中部健康成熟叶片,避开叶脉进行测定。每个处理测定3株,每株测定5个叶片,取其平均值。

根据景洪市气象局提供的2024年11月至2025年4月期间的每日气象参数包括日最高温度、最低温度、最高湿度、最低湿度及降雨量等统计计算出当月平均高温、平均低温、平均高湿、平均低湿、平均降雨量和当月降雨天数等(表1)。

表1 2024—2025年冬春旱季期间气象因子变化情况

| 日期 | 气象因子 | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|
| | 平均高温/℃ | 平均低温/℃ | 平均高湿/% | 平均低湿/% | 平均降雨量/mm | 降雨天数/d |
| 2024年11月 | 27.7 | 17.9 | 81.2 | 52 | 2.5 | 8 |
| 2024年12月 | 26.9 | 16.0 | 78.0 | 48 | 0.0 | 0 |
| 2025年1月 | 26.1 | 12.7 | 71.5 | 38 | 0.1 | 4 |
| 2025年2月 | 30.4 | 14.6 | 65.0 | 33 | 0.5 | 5 |
| 2025年3月 | 32.3 | 16.9 | 60.0 | 30 | 0.3 | 4 |
| 2025年4月 | 32.7 | 20.7 | 69.0 | 40 | 2.7 | 15 |

1.3.2 叶片光合生理参数测定

选择晴朗静风天气,利用LCpro-SD便携式光合测定仪(ADC Bioscientific Ltd.,英国)测定琴叶风吹楠植株叶片的气体交换参数。采用LED红蓝光源叶室,参考先前对风吹楠植株光合日变化和测定时光合有效辐射(PAR)的日变化情况^[22],将光合有效辐射(PAR)设置为1 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,气体流速设定为500 $\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$,叶室温度(25±2)℃,CO₂浓度以所测环境CO₂浓度为准,测定时间在上午9:00—11:00。每个处理测定3株,每株测定5个叶片,选择叶片中部避开主脉测定,每个叶片重复3次。气体交换参数测定指标包括:净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)及胞间CO₂浓度(C_i)。叶片瞬时水分利用效率(WUE_i, P_n/T_r)为净光合速率与蒸腾速率的比值,叶肉瞬时羧化效率(ICE, P_n/C_i)为净光合速率与胞间CO₂浓度的比值^[23]。

1.4 数据分析

采用Excel 2010软件进行数据录入、整理和作

图,用SPSS 23.0进行单因素方差分析和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 冬春旱季不同处理对琴叶风吹楠叶片SPAD值的影响

SPAD值能可靠地反映植物叶片颜色,间接反映植物叶片的叶绿素含量,进而揭示植物的光合能力及应用状况等^[24-25]。由图1可知,冬春旱季不同月份自然生长和浇水处理条件下,琴叶风吹楠叶片的SPAD值变化趋势基本一致,均呈下降趋势。但下降程度不同,11月份浇水处理SPAD值是自然生长的1.09倍,到次年4月份为自然生长的1.38倍,冬春季自然生长条件下各时期的叶片SPAD值下降更快,且在不同时期测定的SPAD值均极显著低于浇水处理($P < 0.01$)。

从11月到次年4月,自然生长和浇水处理下SPAD值分别为36.45~77.77和50.26~81.34,均值分别为57.94和69.25。受12月和次年1月降雨少

以及低温气候的影响,自然生长状态下叶片的生长受到限制。2月时,叶片SPAD值明显下降,叶片开始逐渐褪绿,3月,叶片开始变黄。而浇水处理的叶片在2月时仍保持绿色,生长状况良好,直至4月才开始逐渐褪绿,此时浇水处理的SPAD值是自然生长的1.38倍。

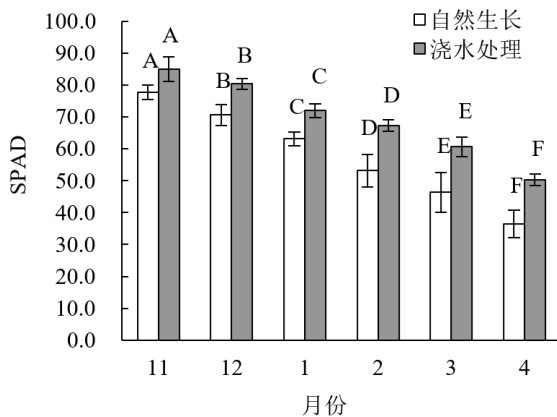


图1 冬春旱季不同月份自然生长和浇水条件下琴叶风吹楠叶片SPAD值变化情况

注:图中不同大写字母表示同一处理不同月份间差异极显著($P < 0.01$),下同。

2.2 冬春旱季不同处理琴叶风吹楠叶片光合生理参数变化

由图2可知,冬春旱季不同时期自然生长和浇水条件下,琴叶风吹楠叶片的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)和蒸腾速率(T_r)均呈现明显的下降趋势(4月份浇水处理的 T_r 较3月份略上升),3个指标在月份间的差异均达到了极显著水平($P < 0.01$)。11月到次年4月,冬春季自然生长和浇水条件下 P_n 由第1次测量的 $7.62 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $11.48 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 分别降至第6次测量的 $0.46 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $3.50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,下降幅度分别为93.96%和69.51%,可见4月时自然生长条件下光合作用几乎停止。11月时,浇水条件下 P_n 是自然生长的1.51倍,到4月时则变为7.60倍。由此可见,琴叶风吹楠的光合速率受自然干旱的影响极为明显。

根据图2A和图2B可知, G_s 和 P_n 保持着较为一致的变化趋势。冬春季11月时浇水处理是自然生长的1.52倍,到4月时提高到了5.33倍。自然生长下叶片 G_s 在1月份时已降至较低值,仅为

$0.060 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,此时浇水处理的 G_s 仍保持在较高水平($0.140 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),是自然生长的2.33倍。随着干旱的加剧,自然生长条件下叶片开始褪绿变黄,气孔逐渐关闭。由图2C可知,自然生长条件下 T_r 随着温度的降低、降雨量的减少,先小幅上升后迅速下降,2月后蒸腾几乎停止,而浇水处理的 T_r 在冬春季基本呈下降趋势,在4月时是自然生长条件下的4.61倍,仍保持一个相对高值。

由图2D可知,胞间 CO_2 浓度(C_i)11月至次年1月整体呈缓慢上升趋势,2月下降后又呈缓慢回升趋势,自然生长条件的 C_i 比浇水处理略大一些,说明浇水处理更有利于叶片对 CO_2 的利用。由图2E和图2F可知,整个冬春旱季期间,浇水处理下叶片瞬时水分利用效率(WUE_i)和瞬时羧化效率(ICE)均比自然生长的高,自然生长条件下ICE呈快速下降趋势,到次年4月降至最低,此时浇水处理ICE是自然生长的8.34倍,说明琴叶风吹楠耐干旱能力较弱。

2.3 光合生理参数与气象因子间相关性分析

由表2可知,自然生长条件下SPAD值、 T_r 、 G_s 、 P_n 和ICE等5个指标间两两呈显著或极显著正相关。SPAD值、 T_r 、 G_s 和 P_n 与平均高温均呈显著负相关,与湿度呈显著正相关,与平均低温、平均降雨量和降雨天数无明显相关性。

由表3可知,浇水处理条件下SPAD值、 T_r 、 G_s 、 P_n 和ICE等5个指标间两两呈显著或极显著正相关。SPAD值、 T_r 、 G_s 和 P_n 与平均高温呈显著负相关,与平均湿度呈显著正相关,与平均低温、平均降雨量和降雨天数无明显相关性。自然生长和浇水处理条件下,各光合生理参数之间的相关性相一致,各光合生理参数与气象因子间的相关性也基本一致。

3 讨论与结论

植物叶片光合生理参数可以反映植物生理代谢和物质积累的能力,也可以反映环境因子对植物代谢和生长的影响^[26-27]。植物在适宜生长环境时光合作用效能最大,不同环境胁迫均会使植物

的光合效率有所降低^[28]。研究表明,随着干旱程度的加重,若净光合速率和气孔导度下降的同时伴随着胞间 CO₂ 浓度下降,则说明光合速率的下

降主要是受气孔因素限制,若净光合速率和气孔导度下降而胞间 CO₂ 浓度上升或基本稳定,则说明光合速率的下降主要为非气孔因素限制^[29-30]。

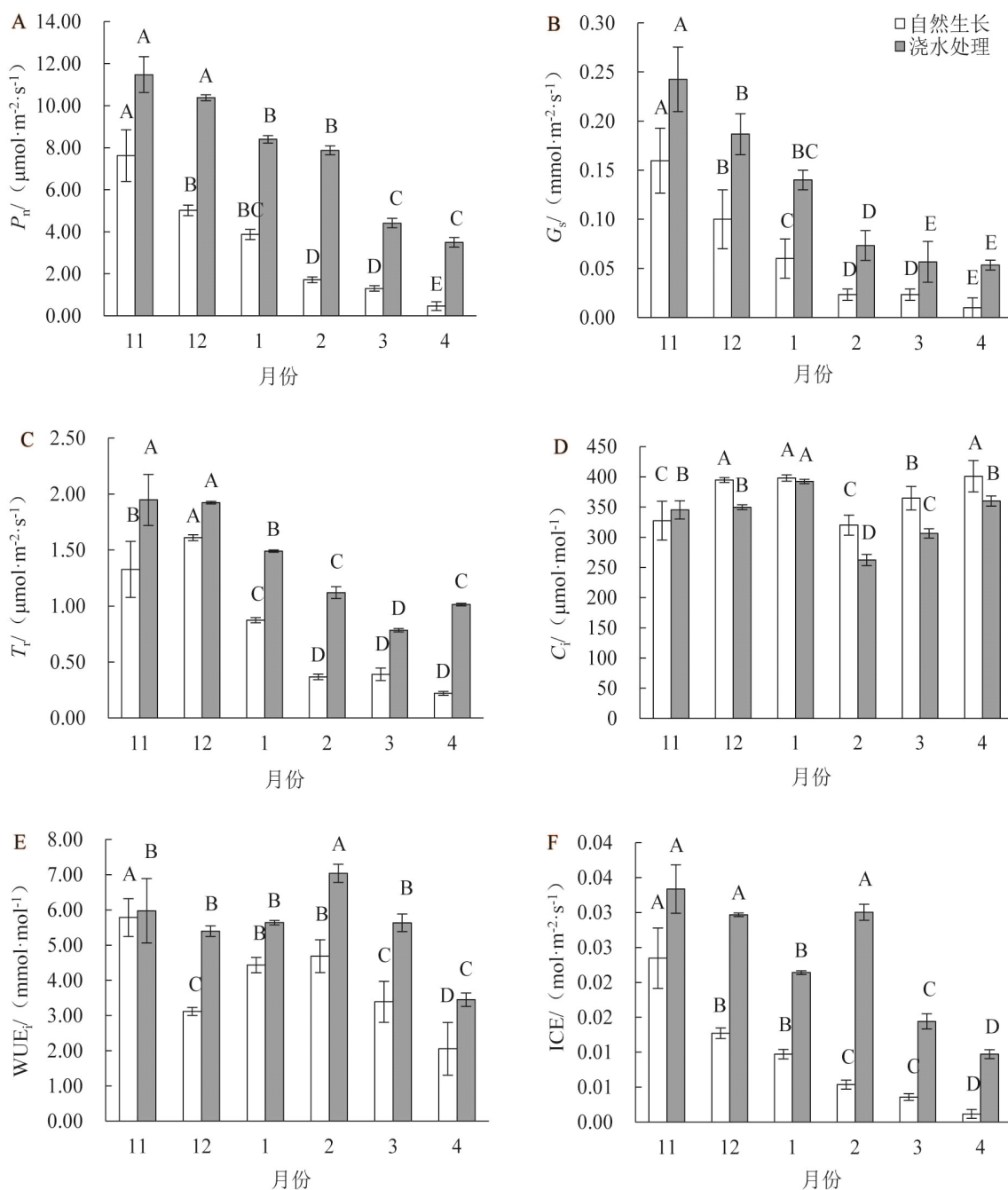


图2 冬春旱季不同月份自然生长和浇水条件下琴叶风吹楠叶片光合生理参数变化情况

本研究中,自然生长和浇水条件下,随着温度的降低、湿度的降低和降雨量的减少,净光合速率和气孔导度均下降,而胞间 CO₂ 浓度并未呈下

降的趋势,表明冬春季琴叶风吹楠植株叶片净光合速率下降主要受非气孔因素影响。此外,这种差异性主要由琴叶风吹楠光合生理参数在不同

干旱条件下的变化幅度不一致所致。李潇等^[31]研究表明,灌溉对‘新林1号’杨(*Populus cathayana* × *canadensis* ‘Xinlin1’)叶片光合特性和生理指标均有显著影响,随着灌溉量的增加,杨树叶片净光合速率显著提高。彭溢濠等^[32]研究表明油茶(*Camellia oleifera*)在重度干旱时的净光合速率下降幅度较大,董斌等^[33]发现油茶在干旱胁迫初期其净光合速率快速显著下降。本研究中浇水处理下的净光合速率最高时是自然生长条件下的7.60倍,自然生长条件下冬春季不同时期的净光合速率下降速度比浇水处理更快。从11月到

次年4月,自然生长条件下净光合速率降幅达到93.96%,光合作用几乎停止,而浇水处理净光合速率降幅为69.51%,浇水处理降幅也较大的主要原因是次年4月时叶片已完成了正常的生长发育史,属于正常衰老。在干旱最严重的2月,自然生长条件下净光合速率仅为 $1.71 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,而浇水条件下净光合速率为 $7.87 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,说明琴叶风吹楠的光合系统在干旱严重时将会受到较严重的损伤,而浇水处理可以缓解受损,进一步表明琴叶风吹楠整体抗旱能力较弱。

表2 自然生长条件下琴叶风吹楠光合生理参数与气象因子间的相关性分析

| 项目 | SPAD | C_i | T_r | G_s | P_n | WUE _i | ICE |
|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|------------------|--------|
| C_i | -0.266 | | | | | | |
| T_r | 0.912** | 0.052 | | | | | |
| G_s | 0.928** | -0.259 | 0.878* | | | | |
| P_n | 0.966** | -0.249 | 0.890* | 0.990** | | | |
| WUE _i | 0.703* | -0.740* | 0.352 | 0.622 | 0.676 | | |
| ICE | 0.935** | -0.362 | 0.823* | 0.989** | 0.989** | 0.730 | |
| 平均高温 | -0.873* | -0.088 | -0.826* | -0.703* | -0.789* | -0.520 | -0.707 |
| 平均低温 | -0.395 | 0.088 | -0.219 | -0.042 | -0.179 | -0.464 | -0.110 |
| 平均高湿 | 0.797* | 0.027 | 0.855* | 0.884* | 0.870* | 0.343 | 0.844* |
| 平均低湿 | 0.726* | 0.023 | 0.816* | 0.872* | 0.832* | 0.262 | 0.819* |
| 平均降雨量 | -0.139 | -0.153 | -0.157 | 0.195 | 0.098 | -0.002 | 0.196 |
| 降雨天数 | -0.538 | 0.054 | -0.544 | -0.256 | -0.331 | -0.266 | -0.245 |

注: *代表相关性显著 ($P < 0.05$), **代表相关性极显著 ($P < 0.01$), 下同。

表3 浇水处理条件下琴叶风吹楠光合生理参数与气象因子间的相关性分析

| 项目 | SPAD | C_i | T_r | G_s | P_n | WUE _i | ICE |
|------------------|---------|--------|---------|---------|---------|------------------|--------|
| C_i | 0.137 | | | | | | |
| T_r | 0.895* | 0.424 | | | | | |
| G_s | 0.929** | 0.389 | 0.961** | | | | |
| P_n | 0.980** | 0.132 | 0.922** | 0.919** | | | |
| WUE _i | 0.554 | -0.586 | 0.176 | 0.241 | 0.541 | | |
| ICE | 0.896* | -0.222 | 0.755* | 0.750* | 0.934** | 0.733* | |
| 平均高温 | -0.845* | -0.490 | -0.851* | -0.804* | -0.858* | -0.352 | -0.671 |
| 平均低温 | -0.417 | 0.033 | -0.176 | -0.142 | -0.411 | -0.701* | -0.420 |
| 平均高湿 | 0.755* | 0.508 | 0.957** | 0.918** | 0.801* | -0.055 | 0.614 |
| 平均低湿 | 0.785* | 0.477 | 0.905* | 0.882* | 0.720* | -0.152 | 0.539 |
| 平均降雨量 | -0.188 | 0.156 | 0.050 | 0.111 | -0.121 | -0.496 | -0.151 |
| 降雨天数 | -0.592 | 0.149 | -0.337 | -0.314 | -0.510 | -0.637 | -0.517 |

蒸腾速率的大小在一定程度上反映了植物调节水分利用的能力。气孔导度反映了植物叶片气孔的开放程度,气孔导度的下降会直接影响叶片净光合速率和蒸腾速率。厉广辉等^[34]的研究

表明,花生(*Arachis hypogaea*)的大部分品种在干旱后期气孔导度明显下降到较低值。本研究中,自然干旱生长条件下,1月份时蒸腾速率和气孔导度已降至较低值,而浇水处理条件仍保持在较

高水平。水分利用效率被看作是衡量碳固定与水分消耗关系的一个重要指标,植物遭受干旱胁迫后,可以通过调节水分利用效率来保持植物生长发育与水分消耗之间的平衡^[32]。裘梅^[35]研究表明龙葵(*Solanum nigrum*)在适度干旱胁迫下水分利用效率会提高,刘歌畅等^[36]研究也表明随着干旱胁迫的加剧到一定程度,沙棘(*Hippophae rhamnoides*)的水分利用效率会提高。在本研究中,在冬春季干旱前期,不论是浇水处理还是自然生长条件下,琴叶风吹楠植株水分利用效率均随着干旱的加剧而上升,这与上述研究结果相一致。

相关性分析结果表明,自然生长和浇水条件下各性状的相关性基本一致,即SPAD值、蒸腾速率、气孔导度、净光合速率和瞬时羧化效率等5个光合生理指标间两两呈显著或极显著正相关;SPAD值、蒸腾速率、气孔导度、和净光合速率与平均高温呈显著负相关,与湿度呈显著正相关,与平均低温、平均降雨量和降雨天数无明显相关性。净光合速率与平均高温呈显著负相关,与湿度呈显著正相关,从气象因子的角度看,冬季到春季变化过程中温度逐渐升高,由于冬春季降雨均较少,温度升高后,高温导致干旱越来越严重,湿度越来越小,也是导致琴叶风吹楠净光合速率快速减少的主要原因,而叶片发育是不可逆的,浇水处理可减缓叶片衰老的进程。

在持续干旱环境下,琴叶风吹楠叶片逐渐褪绿变黄,甚至脱落,光合作用逐渐趋于停止状态,此时也几乎未见植株开花,较少有新叶抽生。而浇水状态下,直至次年4月,琴叶风吹楠叶片仍保持一定的光合作用,从植株的生长状态来看,当年抽生的叶片到次年4月逐渐衰老,但同时逐渐抽生出大量新叶与花芽,开花量较大,结实正常。说明水分的亏缺不仅影响琴叶风吹楠叶片的生长,同时也显著影响其生殖生长,该结果可为后续深入研究琴叶风吹楠的干旱适应性和濒危原因提供参考。

参考文献:

[1] 顾子霞,吴宝成,吴林园,等. 江苏3种大戟属野生植物

- 总脂含量及脂肪酸组分分析[J]. 林产化学与工业, 2009,29(4):63-66.
- [2] 叶脉. 中国肉豆蔻科植物分类研究[D]. 广州:华南农业大学,2004.
- [3] 傅立国,陈潭清,郎楷永,等. 中国高等植物(第三卷)[M]. 青岛:青岛出版社,2000:197-203.
- [4] 蒋英,李秉滔,李延辉. 中国植物志(第三十卷)[M]. 北京:科学出版社,1979:194-205.
- [5] 傅立国,金鉴明. 中国植物红皮书(第一册)[M]. 北京:科学出版社,1991:468-469.
- [6] 吴裕,段安安,田耀华,等. 云南野生珍稀油料树种琴叶风吹楠资源调查[J]. 广西植物,2011,31(2):217-221, 216.
- [7] 吴裕,段安安,毛常丽,等. 特殊油料树种琴叶风吹楠遗传多样性及分类位置[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2019.
- [8] 汪松,解焱. 中国物种红色名录[M]. 北京:高等教育出版社,2004:330.
- [9] 陈贝贝,匡文浓,姜俊,等. 长白山次生杨桦林优势更新幼苗空间分布及环境解释[J]. 生态学报,2021,41(11):4469-4475.
- [10] 地力夏提·包尔汉,张绘芳,朱雅丽,等. 准格尔盆地梭梭天然更新幼苗空间格局与影响因子[J]. 西部林业科学,2019,48(1):130-134.
- [11] 李昌龙,吴昊,姜生秀,等. 梭梭林土壤结皮发育对黄花补血草种子萌发和种群特征的影响[J]. 干旱区地理, 2021,44(3):830-837.
- [12] 张春雨,赵秀海,夏富才. 长白山次生林树种空间分布及环境解释[J]. 林业科学,2008,44(8):1-8.
- [13] 高文礼,陈晓楠,伊力努尔·艾力,等. 塔里木河下游生态输水对怪柳种群适应更新影响的研究进展[J]. 生态科学,2024,43(1):229-235.
- [14] WU ZY, RAVEN PH, HONG DY. Flora of China (Vol.7)[M]. BeiJing:Science Press,2008:96-101.
- [15] 吴裕,毛常丽,张凤良,等. 琴叶风吹楠(肉豆蔻科)分类学位置再研究[J]. 植物研究,2015,35(5):652-659.
- [16] 吴裕,段安安,田耀华,等. 云南野生珍稀油料树种琴叶风吹楠资源调查[J]. 广西植物,2011,31(2):217-221, 216.
- [17] 李小琴,张凤良,吴裕,等. 不同处理对琴叶风吹楠种子发芽率及幼苗生长的影响[J]. 热带农业科技,2024,47(2):46-49.
- [18] 许玉兰,吴裕,易小泉,等. 珍稀油料植物琴叶风吹楠种子性状及含油率的变异分析[J]. 安徽农业科学,2011, 39(6):3426-3428.
- [19] 蔡年辉,许玉兰,吴裕,等. 贮藏对琴叶风吹楠脂肪酸含

- 量及成分的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31(11):85-89.
- [20] 毛常丽, 张凤良, 杨晓玲, 等. 珍稀琴叶风吹楠种子主要脂肪酸成分变化规律研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(1):76-82.
- [21] 毛常丽, 张凤良, 李小琴, 等. 琴叶风吹楠资源遗传多样性的 AFLP 分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2020, 28(3):271-276.
- [22] 李小琴, 张凤良, 杨浩, 等. 遮阴对濒危植物风吹楠幼苗叶形态和光合参数的影响[J]. 植物生理学报, 2019, 55(1):80-90.
- [23] 刘友良. 植物水分逆境[M]. 北京:中国农业出版社, 1992:78-85.
- [24] 姜丽芬, 石福臣, 王化田, 等. 叶绿素计 SPAD-502 在林业上应用[J]. 生态学杂志, 2005, 24(12):1543-1548.
- [25] 张凤良, 李小琴, 毛常丽, 等. 橡胶树叶片不同发育时期 SPAD 值及叶色动态变化[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(1):83-90.
- [26] 屠凯, 温国胜, 侯平. 红叶石楠绿叶与红叶的光合蒸腾特性比较[J]. 中国农学通报, 2019, 35(15):110-115.
- [27] 陈超, 金则新, 袁梦, 等. 不同光照强度下濒危植物景宁木兰幼苗光合特性的季节变化[J]. 浙江农林大学学报, 2022, 39(5):950-959.
- [28] LIANG GT, BU JW, ZHANG SY, et al. Effects of drought stress on the photosynthetic physiological parameters of *Populus × euramericana* 'Neva' [J]. Journal of Forestry Research, 2019, 30(2):409-416.
- [29] 吕朝燕, 高智席, 徐兴线, 等. 桫欏光合特性和水势对干旱胁迫及复水的响应[J]. 林业资源管理, 2023(1):51-61.
- [30] 叶甜甜, 左继林, 周文才, 等. 干旱-复水处理对3个油茶良种的生长与光合生理特性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2025, 45(11):42-54.
- [31] 李潇, 王汉时, 王宏星, 等. 灌溉和施肥对'新林1号'杨生长和光合生理特性的影响[J]. 植物研究, 2025, 45(1):77-87.
- [32] 彭溢濠, 唐徐一, 邹婷婷, 等. 两个主栽油茶品种对干旱胁迫的适应策略[J/OL]. 中国油料作物学报, 2025-12-26. <https://doi.org/10.19802/j.issn.1007-9084.2025120>.
- [33] 董斌, 韦雪芬, 蓝来娇, 等. 干旱胁迫对4个油茶品种光合特性的影响[J]. 经济林研究, 2018, 36(4):9-15.
- [34] 厉广辉, 张昆, 刘凤珍, 等. 不同抗旱性花生品种结荚期叶片生理特性[J]. 2016, 48(2):35-39.
- [35] 裘梅. 干旱胁迫对龙葵解剖结构和生理特性的影响[D]. 南京:南京农业大学, 2010.
- [36] 刘歌畅, 岳丽华, 刘春海, 等. 干旱胁迫对俄罗斯大果沙棘幼苗光合荧光参数的影响[J]. 北方园艺, 2022(22):16-23.