

云南不同地区勃氏甜龙竹集中发笋期叶光合特性日变化及光合酶活性比较

李建伟, 覃万玲, 辉朝茂, 刘蔚漪^①

(西南林业大学林学院 竹藤科学研究院 国家林业和草原局丛生竹工程技术中心, 云南 昆明 650224)

摘要: 为揭示云南不同地区勃氏甜龙竹 [*Dendrocalamus brandisii* (Munro) Kurz.] 的光合特性日变化规律及光合酶活性特征, 对 7 个地区勃氏甜龙竹集中发笋期叶的 4 个光合特性指标日变化及 5 种光合酶活性进行比较。结果表明: 在 9:00—18:00, 思茅的净光合速率整体高于其他地区, 并且, 除新平外, 其他地区的净光合速率日变化曲线均呈双峰型; 蒸腾速率日变化曲线在芒市和沧源呈单峰型, 在昌宁、临翔、思茅和新平呈双峰型, 而在石屏波动式缓慢下降; 思茅的气孔导度明显高于其他地区; 除临翔外, 其他地区的胞间 CO₂ 浓度日变化曲线整体呈“U”型。核酮糖-1,5-二磷酸羧化/加氧酶活性以石屏最高, 烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸-苹果酸酶活性以新平最高, 烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸-苹果酸酶脱氢酶活性以思茅最高, 磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶和丙酮酸磷酸双激酶活性以临翔最高。整体而言, 云南不同地区勃氏甜龙竹在集中发笋期叶光合特性日变化趋势整体较为相似, 且以思茅的光合特性和光合酶活性较高。

关键词: 云南; 勃氏甜龙竹; 光合特性; 光合酶活性

中图分类号: Q945.11; S795.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-7895(2025)06-0102-04

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2025.06.11

Comparison on diurnal variations of photosynthetic characteristics and photosynthetic enzyme activities in leaves of *Dendrocalamus brandisii* in different regions of Yunnan Province during the concentrated shooting period LI Jianwei, QIN Wanling, HUI Chaomao, LIU Weiyi^① (Academy of Bamboo and Rattan Sciences, National Forestry and Grassland Administration Engineering Technology Research Center for Clumping Bamboo, College of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2025, 34(6): 102-105

Abstract: To reveal the diurnal variation patterns of photosynthetic characteristics and the characteristics of photosynthetic enzyme activities of *Dendrocalamus brandisii* (Munro) Kurz. in different regions of Yunnan Province, the diurnal variations of four photosynthetic characteristic indexes and five photosynthetic enzyme activities in leaves of *D. brandisii* in seven regions of Yunnan Province during the concentrated shooting period were compared. The results show that during 9:00-18:00, the net photosynthetic rate in Simao is generally higher than those in the other regions, and except for Xiping, the diurnal variation curves of net photosynthetic rate in the other regions all show a bimodal pattern; the diurnal variation curves of transpiration rate in Mangshi and Cangyuan show a unimodal pattern, those in Changning, Linxiang, Simao, and Xiping show a bimodal pattern, while that in Shiping descends slowly in fluctuating manner; the stomatal conductance in Simao is evidently higher than those in the other regions; except for Linxiang, the diurnal variation curves of intercellular CO₂ concentration in the other regions generally show a ‘U’ pattern. Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase activity is the highest in Shiping, nicotinamide adenine dinucleotide phosphate-malic enzyme activity is the highest in Xiping, nicotinamide adenine dinucleotide phosphate-malic enzyme dehydrogenase activity is the highest in Simao, while phosphoenolpyruvate carboxylase and pyruvate phosphate dikinase activities are both the highest in Linxiang. Overall, the diurnal variation tendencies of photosynthetic characteristics of leaves of *D. brandisii* in different regions of Yunnan Province during the concentrated shooting period are generally similar, and the photosynthetic characteristics and photosynthetic enzyme activities in Simao are relatively high.

Key words: Yunnan Province; *Dendrocalamus brandisii* (Munro) Kurz.; photosynthetic characteristics; photosynthetic enzyme activity

竹林是热带和亚热带地区一种特殊的森林资源,对缓解 [*Dendrocalamus brandisii* (Munro) Kurz.], 又称甜龙竹,为禾本
全球气候变暖、改善生态环境具有积极作用^[1]。勃氏甜龙竹 科(Poaceae)牡竹属(*Dendrocalamus* Nees)大型丛生竹^[2],广泛

收稿日期: 2024-02-18

基金项目: 云南省农业联合专项(202301BD070001-123); 国家重点研发计划项目(2021YFD2200501); 西南特色笋用林高效培育技术项目(2023YFD220120302); 云南省基础研究项目(202201AT070053)

作者简介: 李建伟(1997—),男,彝族,云南砚山人,博士研究生,主要从事竹类植物多样性及竹林生态研究。

^①通信作者 E-mail: weiyiliu651@126.com

引用格式: 李建伟,覃万玲,辉朝茂,等. 云南不同地区勃氏甜龙竹集中发笋期叶光合特性日变化及光合酶活性比较[J]. 植物资源与环境学报, 2025, 34(6): 102-105.

种植于云南南部^[3],具有出笋快、产量高、笋味佳、秆材用途广等特性,已经成为云南省重点发展的优良竹种^[4]。

光合作用是植物进行物质积累和生长代谢的重要途径^[5],与植物的产量和品质密切相关^[6]。植物的光合作用不仅受到自身遗传特性的影响,还受到外界环境的制约^[7]。植物在不同环境下的光合特性变化规律不仅能反映植物对光能的利用能力,还能反映植物对光照、水分、温度和CO₂浓度等环境条件的需求^[8],对植物的移栽、管理和利用具有一定的指导意义^[9]。虽然已有学者对勃氏甜龙竹进行了光合特性方面的研究^[10-11],但这些研究的实验对象均为同一地区栽培的勃氏甜龙竹植株,研究区域存在局限性,无法反映不同地区勃氏甜龙竹的光合特性。鉴于此,笔者对云南省7个地区勃氏甜龙竹4个光合特性指标的日变化以及光合酶活性进行了比

较,以期探明勃氏甜龙竹在不同栽培环境下的光合特性日变化规律,为勃氏甜龙竹的高质、高效培育及其生态效益的充分发挥提供参考依据。

1 研究地概况和研究方法

1.1 研究地概况

在云南省的德宏傣族景颇族自治州芒市、红河哈尼族彝族自治州石屏县、玉溪市新平县、保山市昌宁县、普洱市思茅区、临沧市临翔区和沧源县各选取1个具有代表性的勃氏甜龙竹种植地,在各种植地内选取林龄为9a的勃氏甜龙竹纯林(株距和行距均为3m)进行实验。这些种植地均采用粗放管理,土壤均为酸性褐土^[12]。每个种植地的基本概况见表1。

表1 云南省7个地区勃氏甜龙竹种植地的基本概况

Table 1 Basic situation of planting areas of *Dendrocalamus brandisii* (Munro) Kurz. in seven regions of Yunnan Province

地区 Region	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔/m Altitude	坡向 Aspect	坡度/(°) Slope	年均温/°C Mean annual temperature	年降水量/mm Annual precipitation	气候类型 ¹⁾ Climate type ¹⁾
芒市 Mangshi	N24°26'37"	E98°23'17"	1 022	西 West	13	19-22	1 600-2 000	SSM
石屏 Shiping	N23°44'22"	E102°26'49"	1 457	西南 Southwest	10	18-21	900-1 200	MPM
新平 Xinping	N24°00'28"	E101°35'21"	1 226	南 South	11	23-25	800-1 000	SSM
昌宁 Changning	N24°31'32"	E99°39'48"	1 229	西 West	10	16-18	1 200-1 500	MPM
思茅 Simao	N22°44'17"	E101°08'05"	1 236	西 West	17	17-20	1 500-1 800	SSM
临翔 Linxiang	N23°45'57"	E100°16'35"	1 051	西南 Southwest	15	18-20	1 400-1 600	SSM
沧源 Cangyuan	N23°11'47"	E99°14'43"	1 425	西南 Southwest	13	18-22	1 600-2 200	SSM

¹⁾SSM: 南亚热带季风气候 Southern subtropical monsoon climate; MPM: 中亚热带高原季风气候 Mid-subtropical plateau monsoon climate.

1.2 材料

于2022年8月(即勃氏甜龙竹集中发笋期)选择连续晴朗的天气,在每个种植地内各选择3丛生长状况相近且健康的勃氏甜龙竹植株,对样株中部侧枝中上部位的向阳且面积相近的3枚健康成熟功能叶进行光合特性指标测定。在检测日10:00—12:00,采集样株中部侧枝中上部位的向阳且面积相近的3~5枚健康成熟功能叶,分别放入封口袋密封并标记后置于液氮中保存,用于光合酶活性测定。

1.3 方法

1.3.1 光合特性指标测定 采用LI-6400便携式光合测定仪(美国LI-COR公司)在自然光条件下对上述样株进行净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间CO₂浓度测定。由于林内的竹秆及竹叶密度较高,早晨及傍晚光强较低时竹丛透光度较低甚至无光,因此,光合特性指标测定时间为9:00—18:00。叶室面积为6cm²;测定时,采取开放式气体通路,空气流速400μmol·s⁻¹。每个整点测定1次,每次读取3次数据。

1.3.2 光合酶活性测定 采用苏州格锐思生物技术有限公司生产的试剂盒进行核酮糖-1,5-二磷酸羧化/加氧酶、烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸-苹果酸酶、烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸-苹果酸脱氢酶、磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶和丙酮酸磷酸双

激酶活性测定。每个种植地各取3份样品进行检测。

1.4 数据统计分析

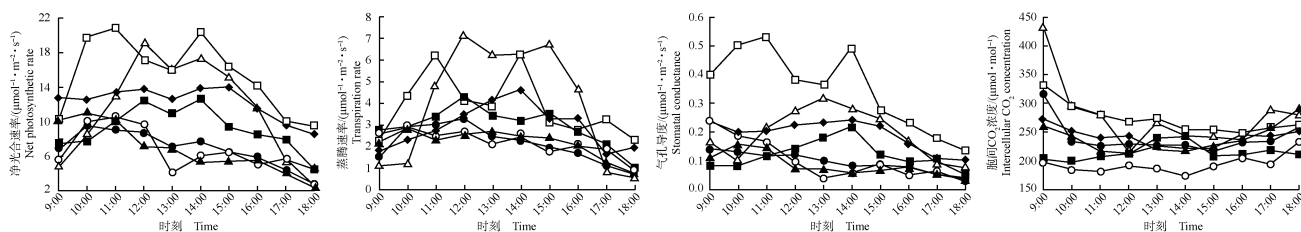
利用EXCEL 2019软件对原始数据进行整理,利用SPSS 23.0软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA),利用Origin 2022软件制图。

2 结果和分析

2.1 光合特性日变化分析

比较不同地区勃氏甜龙竹集中发笋期叶光合特性指标的日变化曲线,结果见图1。

比较来看,思茅的净光合速率在9:00—18:00整体高于其他地区,仅在9:00低于沧源,在12:00低于昌宁。新平的净光合速率日变化曲线呈单峰型,峰值出现在11:00;其余地区的净光合速率日变化曲线均呈双峰型,并在13:00明显减小,但2个峰值出现的时间存在差异。其中,昌宁和临翔的2个峰值均出现在12:00和14:00,芒市的2个峰值分别出现在10:00和14:00,沧源的2个峰值分别出现在12:00和15:00,思茅的2个峰值分别出现在11:00和14:00,石屏的2个峰值分别出现在11:00和15:00。



●: 芒市 Mangshi; ○: 石屏 Shiping; ▲: 新平 Xinping; ▴: 昌宁 Changning; □: 思茅 Simao; ■: 临翔 Linxiang; ◆: 沧源 Cangyuan.

图1 云南省不同地区勃氏甜龙竹集中发笋期叶光合特性指标的日变化
Fig. 1 Diurnal variations of leaf photosynthetic characteristic indexes of *Dendrocalamus brandisii* (Munro) Kurz. in different regions of Yunnan Province during the concentrated shooting period

比较来看,昌宁的蒸腾速率日变化幅度最大。芒市和沧源的蒸腾速率日变化曲线呈单峰型,峰值分别出现在12:00和14:00;昌宁、临翔、思茅和新平的蒸腾速率日变化曲线呈双峰型,谷值分别出现在13:00、14:00、13:00和11:00,昌宁和临翔的2个峰值均出现在12:00和15:00,思茅的2个峰值分别出现在11:00和14:00;石屏的蒸腾速率日变化曲线呈波动式缓慢下降趋势。

比较来看,思茅的气孔导度在9:00—18:00明显高于其他地区,且日变化曲线呈双峰型,谷值出现在13:00,2个峰值分别出现在11:00和14:00;石屏的气孔导度日变化呈现“持续下降—略有回升—波动下降”的趋势,在13:00明显减小;芒市的气孔导度在9:00—18:00整体上持续下降,而其他地区的气孔导度日变化整体呈单峰型,但峰值出现时间不同。

比较来看,临翔的胞间CO₂浓度日变化曲线呈单峰型,在

14:00达到峰值;其他地区的胞间CO₂浓度日变化曲线整体上呈“U”型,但谷值出现时间不同。

2.2 光合酶活性差异分析

对不同种植地勃氏甜龙竹集中发笋期叶的光合酶活性进行比较,结果(表2)显示:核酮糖-1,5-二磷酸羧化/加氧酶(Rubisco)活性以石屏最高、新平最低,且石屏的Rubisco活性显著($P < 0.05$)高于新平、昌宁和沧源;烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸-苹果酸酶(NADP-ME)活性以新平最高、思茅最低,且新平的NADP-ME活性显著高于其他地区;烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸-苹果酸酶脱氢酶(NADP-MDH)活性以思茅最高、石屏最低,且这2个种植地与其他地区间的NADP-MDH活性差异显著;磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶(PEPC)和丙酮酸磷酸双激酶(PPDK)活性均以临翔最高,分别以昌宁和芒市最低,并且,2种酶活性的最高值和最低值间差异显著。

表2 云南省不同地区勃氏甜龙竹集中发笋期叶光合酶活性比较($\bar{X} \pm SD$)

Table 2 Comparison on photosynthetic enzyme activities in leaves of *Dendrocalamus brandisii* (Munro) Kurz. in different regions of Yunnan Province during the concentrated shooting period ($\bar{X} \pm SD$)

地区 Region	光合酶活性/($\text{nmol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$) ¹⁾ Photosynthetic enzyme activity ¹⁾				
	Rubisco	NADP-ME	NADP-MDH	PEPC	PPDK
芒市 Mangshi	6.79±1.03ab	41.50±10.30cd	355.37±35.08c	28.48±1.96cd	75.20±21.78c
石屏 Shiping	8.04±1.11a	61.92±0.93b	129.22±1.27e	31.93±5.27bc	118.48±5.42c
新平 Xinping	4.34±1.14c	101.15±1.12a	378.75±20.22c	25.72±4.06cde	112.58±17.44c
昌宁 Changning	4.92±1.05bc	54.15±5.43bc	385.45±33.13c	21.31±3.49e	254.27±50.35b
思茅 Simao	6.77±1.09ab	34.35±6.46d	623.82±14.23a	37.18±2.76b	81.57±4.29c
临翔 Linxiang	6.16±1.09abc	37.62±5.45d	215.55±17.49d	62.17±3.00a	331.70±15.33a
沧源 Cangyuan	4.92±1.10bc	51.28±11.28bc	577.18±2.84b	24.57±4.08de	305.47±30.24a

¹⁾ Rubisco: 核酮糖-1,5-二磷酸羧化/加氧酶 Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase; NADP-ME: 烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸-苹果酸酶 Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate-malic enzyme; NADP-MDH: 烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸-苹果酸酶脱氢酶 Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate-malic enzyme dehydrogenase; PEPC: 磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶 Phosphoenolpyruvate carboxylase; PPDK: 丙酮酸磷酸双激酶 Pyruvate phosphate dikinase. 同列中的不同小写字母表示在不同地区间差异显著($P < 0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant differences ($P < 0.05$) between different regions.

3 讨论和结论

植物光合特性不仅受自身遗传特性的影响,还受环境变化的影响^[7],并且,同一竹种在不同地方种植超过一定期限

后,其光合特征会对种植地环境产生适应^[13]。整体来看,供试7个地区的光合有效辐射和大气温度等环境因子存在一定差异(未发表数据),不同地区勃氏甜龙竹的光合特性指标日变化也存在明显不同,说明在不同栽培环境下,勃氏甜龙竹会表现出不同的适应性。

净光合速率是衡量植物光合作用水平的一个重要指标^[14],其数值大小受光合有效辐射影响较大^[15]。比较发现,在9:00—18:00,思茅的勃氏甜龙竹叶净光合速率整体高于其他地区,说明栽培于思茅的勃氏甜龙竹较其他地区植株具有更强的光合能力,这可能与思茅的光合有效辐射较高(未发表数据)有关。光合午休是植物界普遍存在的一种现象^[16],芒市、石屏、昌宁、思茅、临翔、沧源的勃氏甜龙竹均存在光合午休现象,即在13:00叶的净光合速率明显减小,这可能是因为中午时光照强度和气温较高,导致植物叶片上的气孔关闭,从而使叶的光合作用受到抑制^[10-11]。与上述6个地区勃氏甜龙竹叶净光合速率的日变化曲线呈双峰型明显不同,新平的勃氏甜龙竹叶净光合速率日变化曲线为单峰型,推测造成这种差异的原因可能是新平常年气温较高且降水分布不均匀,存在明显的焚风效应,且与其他地区相比较为干旱。

相关研究结果显示:植物的光合特性与光合酶活性密切相关^[17-19]。文中结果印证了这一结论,如思茅的勃氏甜龙竹叶NADP-MDH活性显著高于其他地区,净光合速率和气孔导度在9:00—18:00也多高于其他地区。然而,植物光合特性变化是一个复杂的生理过程,关于勃氏甜龙竹的光合特性变化机制还需深入研究。

综合分析文中研究结果,笔者认为云南不同地区勃氏甜龙竹叶光合特性日变化趋势整体较为相似,仅在个别地区间存在一定的差异;总体而言,思茅的勃氏甜龙竹光合特性和光合酶活性俱佳。

参考文献:

- [1] YANG C, ZHANG X, NI H, et al. Soil carbon and associated bacterial community shifts driven by fine root traits along a chronosequence of Moso bamboo (*Phyllostachys edulis*) plantations in subtropical China[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 752: 142333.
- [2] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第九卷第一分册[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 189.
- [3] 孙茂盛, 鄢波, 徐田, 等. 竹类植物资源与利用[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 172.
- [4] 辉朝茂, 何霞红, 刘蔚漪, 等. 推进甜龙竹资源产业化开发助推乡村振兴[J]. *世界竹藤通讯*, 2022, 20(1): 66-69.
- [5] 汤文华, 窦全琴, 潘平平, 等. 不同薄壳山核桃品种光合特性研究[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2020, 44(3): 81-88.
- [6] 姚立新, 庞晓明, 康向阳, 等. 不同产地冬枣嫁接苗光合特性对比研究[J]. *北京林业大学学报*, 2010, 32(5): 107-110.
- [7] KAI Y, MATSUMURA H, IZUI K. Phosphoenolpyruvate carboxylase: three-dimensional structure and molecular mechanisms[J]. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 2003, 414: 170-179.
- [8] 杨通文, 杨浩, 高秀梅. 竹节树光合特性不同季节日变化与其环境因子的相关性分析[J]. *生态科学*, 2023, 42(4): 106-113.
- [9] 邹学校, 马艳青, 张竹青, 等. 环境因子对辣椒光合与蒸腾特性的影响[J]. *植物资源与环境学报*, 2005, 14(4): 17-22.
- [10] 刘蔚漪, 辉朝茂, 陆燕元, 等. 牡竹属3种竹种光合特性及其影响因子分析[J]. *热带作物学报*, 2016, 37(9): 1781-1786.
- [11] 黄玲, 初彩华, 邓琳, 等. 不同栽培条件下的勃氏甜龙竹的叶片结构与光合特性研究[J]. *西部林业科学*, 2020, 49(2): 68-74, 81.
- [12] 陈倩, 辉朝茂, 陶航, 等. 不同地理种源甜龙竹土壤真菌群落结构与功能多样性[J]. *土壤*, 2024, 56(6): 1294-1303.
- [13] 杜旭华, 丁兴萃, 陈岩, 等. 不同纬度引种地马来甜龙竹(*Dendrocalamus asper*)光合特性的比较[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2012, 36(6): 53-57.
- [14] 杨浩, 韩维栋, 高秀梅. 山椒子光合特性日变化与其环境因子的相关性分析[J]. *生态科学*, 2019, 38(6): 92-97.
- [15] 黄滔, 刘玮, 唐红, 等. 4个观赏竹种的光合特性及其影响因子分析[J]. *植物资源与环境学报*, 2016, 25(1): 24-33.
- [16] 万素梅, 贾志宽, 杨宝平. 苜蓿光合速率日变化及其与环境因子的关系[J]. *草地学报*, 2009, 17(1): 27-31.
- [17] 翁晓燕, 陆庆, 蒋德安. 水稻Rubisco活化酶在调节Rubisco活性和光合日变化中的作用[J]. *中国水稻科学*, 2001, 15(1): 35-40.
- [18] SUZUKI Y, MAKINO A. Availability of Rubisco small subunit up-regulates the transcript levels of large subunit for stoichiometric assembly of its holoenzyme in rice[J]. *Plant Physiology*, 2012, 160(1): 533-540.
- [19] 梅杨, 李海蓝, 谢晋, 等. 核酮糖-1,5-二磷酸羧化酶/加氧酶(Rubisco)[J]. *植物生理学通讯*, 2007, 43(2): 363-368.

(责任编辑: 佟金凤)