

DOI: 10.16626/j.cnki.issn1000-8047.2025.05.012

避雨栽培模式对桂七芒果光合作用 和果实品质的影响*

莫罗艳^{1,3}, 刘世恒^{1,3}, 黄慧俐², 王烨熔¹, 李曦¹

(1 广西芒果生物学重点实验室, 百色学院农业与食品工程学院, 百色学院亚热带特色农业产业学院, 533000)

(2 百色市现代农业技术研究推广中心) (3 安徽农业大学资源与环境学院)

摘要 为了研究广西百色地区不同栽培模式对桂七芒果光合作用和果实品质的影响, 以桂七芒果作为试验材料进行露地栽培和避雨栽培, 测定栽培环境的温湿度变化、果实膨大期净光合速率及其他生态因子变化规律和果实品质指标, 研究广西百色地区避雨栽培条件下对桂七芒果叶片光合能力和果实品质的影响。结果表明: 避雨栽培的环境温度较露地高 0.3~1.1 °C; 避雨栽培叶片蒸腾速率、净光合速率、胞间 CO₂ 浓度、光合有效辐射强度、气孔导度均值均高于露地栽培; 灰度关联分析显示, 避雨栽培叶片胞间 CO₂ 浓度和光合有效辐射强度对桂七芒果净光合速率影响最大; 相关性分析显示, 避雨栽培条件下净光合速率与蒸腾速率、胞间 CO₂ 浓度、气孔导度和空气相对湿度均呈极显著正相关, 与叶室 CO₂ 浓度、气孔限制值均呈极显著负相关。以上结果表明, 广西百色地区对芒果进行避雨栽培可以提高芒果净光合速率, 增加单果重, 改善果实品质, 促进芒果优质果的生产。

关键词 芒果; 桂七芒果; 光合作用; 果实品质; 避雨栽培

中图分类号: S667.7

文献标志码: A

文章编号: 1000-8047(2025)05-0070-06

Effects of rain shelter cultivation on photosynthesis and fruit quality in 'Guiqi' mango

Mo Luoyan^{1,3}, Liu Shiheng^{1,3}, Huang Huili², Wang Yerong¹, Li Xi¹

(1 Guangxi Key Laboratory of Biology for Mango; Agriculture and Food Engineering College, Baise University; Industrial College of Subtropical Characteristic Agriculture, Baise University, 533000) (2 Baise Modern Agricultural Technology Research and

Extension Center) (3 College of Resources and Environment, Anhui Agricultural University)

Abstract In order to study the effects of different cultivation methods on photosynthesis and fruit quality of mango in Baise, Guangxi. 'Guiqi' fruits cultivated in open field and rain shelter were used as experimental materials. The effects of humidity and temperature changes, photosynthetic rate, other ecological factors in the fruit growing period and fruit quality indexes were investigated. The results showed that the ambient temperature of rain shelter cultivation was 0.3-1.1 °C higher than that of open field. The diurnal variation of photosynthetic factors showed that transpiration rate, photosynthetic rate, intercellular CO₂ concentration, photosynthetically active radiation and stomatal conductance at rain shelter cultivation were higher than those of open field cultivation. Grayscale correlation analysis showed that the intercellular CO₂ concentration and photosynthetically active radiation intensity under rain shelter cultivation had the greatest influence on the photosynthetic rate of 'Guiqi' fruits. Correlation analysis showed that the photosynthetic rate was significantly positively correlated with transpiration rate, intercellular CO₂ concentration, stomatal conductance and humidity, and significantly negatively correlated with leaf chamber CO₂ concentration and stomatal limit value. The results indicated that the photosynthetic rate and fruit weight of mango fruits could be improved by rain shelter cultivation in Baise area. Rain shelter cultivation can improve the fruit

本文于 2024-07-04 收到, 2024-10-16 收到修改稿。

*广西青年科学基金(2022GXNSFBA035558); 广西中青年项目(2020KY19025)。

莫罗艳电话: 15620084901, E-mail: moluoyan2000@163.com; 李曦为通信作者, E-mail: lixiinchina2017@163.com。

quality, and the production of high-quality mango fruits can be promoted.

Key words mango; 'Guiqi'; photosynthesis; fruit quality; rain shelter cultivation

芒果 (*Mangifera indica* L.) 属漆树科芒果属常绿乔木, 广泛分布于热带、亚热带国家和地区。2019年我国芒果种植面积 32.3 万 hm^2 , 产量 278.2 万 t, 居世界第 3 位。我国芒果主要分布在广西、云南、海南、广东、四川、台湾、福建、贵州等省区, 并形成了早、中、晚三大优势产业带和八大优势区^[1]。广西芒果种植历史悠久, 以百色右江干热河谷为主要栽培地区, 其栽培总面积和总产量均居国内首位^[2]。桂七芒果是广西壮族自治区亚热带作物研究所于 1994 年选出的优良品种, 因其风味独特、品质优良, 深受消费者的喜爱, 市场前景良好, 现已经成为广西百色地区的重要代表性芒果品种, 其在百色地区的栽培方式多为露地栽培^[3]。但是, 百色地区雨季与桂七芒果花期重合, 导致桂七芒果花期管理困难, 造成病害泛滥, 导致大量落果, 严重影响产量和果实品质。现在农业栽培技术多配套设施栽培, 能够提高农业生产效率。因此, 探讨避雨栽培技术对百色地区桂七芒果光合作用以及果实生长发育的影响, 对促进百色地区桂七芒果栽培技术的升级有重要的意义。

目前, 避雨栽培模式已经广泛应用于猕猴桃、葡萄、柑橘、樱桃等果树栽培中, 并且有效减少了果树病虫害和裂果等的发生, 有效提高了果实品质^[4-7]。甜樱桃应用避雨栽培模式, 即使在成熟前降雨也可以减少裂果^[5]。通过设施联动避雨大棚的应用, 可以非常有效地避免果实整个生育期内遭受外界环境的危害, 有效避免携带病原菌的雨水与植物体的接触, 减少人工防控病害的难度^[8-9]。

此外, 随着室内栽培环境的改变, 避雨栽培对果实光合作用的影响开始被研究者关注。在避雨栽培条件下, 软枣猕猴桃、葡萄、樱桃的不同品种展示了不同的光合能力^[10-12]。芒果作为热带地区的重要农作物, 采用避雨栽培技术可以有效降低盛花期因降水过多而引发的病害以及大量落果现象。武红霞等^[13]应用套袋方式改善了红芒 6

号果实表面光洁度, 提高了果实品质。许文天等^[14]和武红霞等^[15]等应用避雨栽培方式, 有效减少了降雨对 Zillate 芒和热农 1 号花期病害的影响。

虽然有关避雨栽培模式在芒果生产中的应用已有报道, 但由于各地域的气候环境差异, 关于广西百色地区避雨栽培对桂七芒果果实生长发育过程中光合因子及果实品质的影响尚鲜有报道。因此, 本研究对露地栽培和避雨栽培模式下的环境温湿度、生态因子及果实品质等指标进行了测定, 并对对比分析了不同栽培模式对桂七芒果光合作用及果实品质的影响, 旨在为未来芒果避雨栽培技术的升级提供数据支持。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

试验于 2021 年 4—7 月在广西百色国家农业科技园区芒果园进行。试验地位于广西壮族自治区百色市田阳区百育镇, 年平均气温 20~28 $^{\circ}\text{C}$, 平均年降水量 1 647.7 mm, 位于右江河谷地区, 雨热同季, 适合芒果的生产。供试材料为 6 年生桂七芒果。钢架拱棚于 2020 年搭建, 避雨棚覆盖透明塑料膜, 四周镂空通风。露地栽培果园紧邻避雨棚栽培果园, 两块区域芒果均采用相同的管理方式, 自然授粉, 未进行疏果。

1.2 试验方法

1.2.1 避雨棚内、外温湿度

于 2021 年 6 月 14 日 (芒果果实膨大期), 设置温湿度自动记录仪器 (精创温度计 RC-4HC, 中国), 自动测定露地和避雨棚内植株冠层高度气温和空气相对湿度日变化, 从 0:00—24:00, 每隔 1 h 记录 1 次。

试验选择晴朗天气开展, 从露地栽培和避雨棚栽培的桂七芒果植株中, 各挑选 3 株长势良好、无病害的植株, 选取植株中上部位、向阳、大小一致的成龄叶片挂牌标记。

1.2.2 露地栽培和避雨栽培桂七芒果光合因子的测定

在果实膨大期的晴天, 选取露地栽培和避雨栽培植株中上部生长基本一致的无病虫害的功能叶片, 使用 LI-6400XT 便携植物光合测定仪 (利科尔公司, 美国) 进行光合指标的测定, 包括蒸腾速率、净光合速率、胞间 CO_2 浓度、气孔导度、光合有效辐射强度、叶室 CO_2 浓度等, 测定时间为 5 月 20 日 14:00、14:30、15:00、15:30、16:00、16:30。每次测定时, 按照以上标准随机选择 3 片叶片进行数据采集。

1.2.3 灰度关联分析

运用灰度关联分析方法对避雨棚内果实膨大期芒果叶片净光合速率与胞间 CO_2 浓度、光合有效辐射强度、叶室 CO_2 浓度、气孔导度、气孔限制值、蒸腾速率和水分利用效率等生理生态因子的关联度进行排序。

1.2.4 果实品质的测定

使用数显游标卡尺测量结果枝与穗的连接点粗度, 每个处理每株树测量 3 次。使用 SPAD-520 Plus 叶绿素仪 (柯尼卡美能达, 日本) 测定叶片叶绿素含量。取成熟期有胚果和无胚果, 利用电子天平称量果实重量, 依据《芒果等级规格》(NY/T 3011—2016), 对芒果果实进行分级。利用数显游标卡尺测量果实横径和侧径。使用 PAL-1 数显折射仪 (ATAGO, 日本) 测定果实可溶性固形物含量。使用 2,6-二氯酚酚滴定法测定果实维生素 C 含量^[16]。

1.3 数据处理

采用 Excel 2010、GraphPad Prism 6 软件对试验数据进行统计分析并绘制图表, 利用 SPSS Pro 软件进行灰度关联分析和相关性分析, 利用 SPSS 17.0 软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 果实膨大期避雨栽培对温湿度的影响

由图 1 可知, 避雨栽培和露地栽培气温日变化较小。避雨栽培气温日变化平缓, 最高气温为 $35.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 最低气温为 $26.9\text{ }^{\circ}\text{C}$; 露地栽培气温日变化趋势与避雨栽培一致, 最高气温为 $34.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 最低气温为 $24.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。1:00—6:00 和 9:00—15:00 避雨栽培气温较露地栽培高。9:00—10:00 避

雨栽培和露地栽培的温差最大, 为 $3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。白天露地栽培气温略低于避雨栽培。

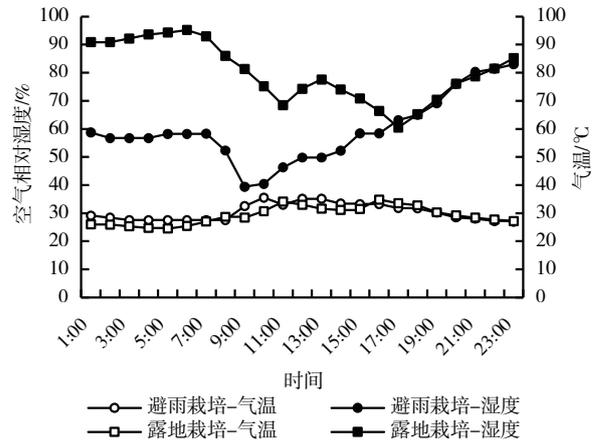


图 1 避雨栽培与露地栽培芒果环境温湿度变化

避雨栽培和露地栽培空气相对湿度日变化差异较大。1:00—16:00 露地栽培空气相对湿度高于避雨栽培, 6:00 露地栽培空气相对湿度达到全天最高, 为 95.2% , 与避雨栽培差值最大, 为 37 个百分点。17:00—23:00 避雨栽培空气相对湿度与露地栽培差异较小。17:00 露地栽培空气相对湿度为全天最低, 为 60.5% ; 23:00 避雨栽培空气相对湿度达到全天最高, 为 83.0% 。果实膨大期白天露地栽培空气相对湿度较高 (图 1)。

2.2 果实膨大期避雨栽培对光合因子日变化的影响

由图 2 可知, 14:00—14:30 露地栽培蒸腾速率高于避雨栽培, 15:00—16:00 避雨栽培蒸腾速率高于露地栽培。14:30—15:00 露地栽培净光合速率高于避雨栽培, 15:30—16:00 避雨栽培净光合速率高于露地栽培。15:30—16:00 避雨栽培胞间 CO_2 浓度高于露地栽培。14:00—15:00 露地栽培气孔导度高于避雨栽培, 15:30—16:00 避雨栽培气孔导度高于露地栽培, 避雨栽培气孔导度在 15:00 开始逐渐升高, 16:00 达到最高。15:00—16:00 避雨栽培光合有效辐射强度高于露地栽培, 且 2 个栽培模式光合有效辐射强度的变化趋势一致。

2.3 净光合速率与光合及环境因子间的灰度关联分析

由表 1 可知, 避雨栽培和露地栽培模式下,

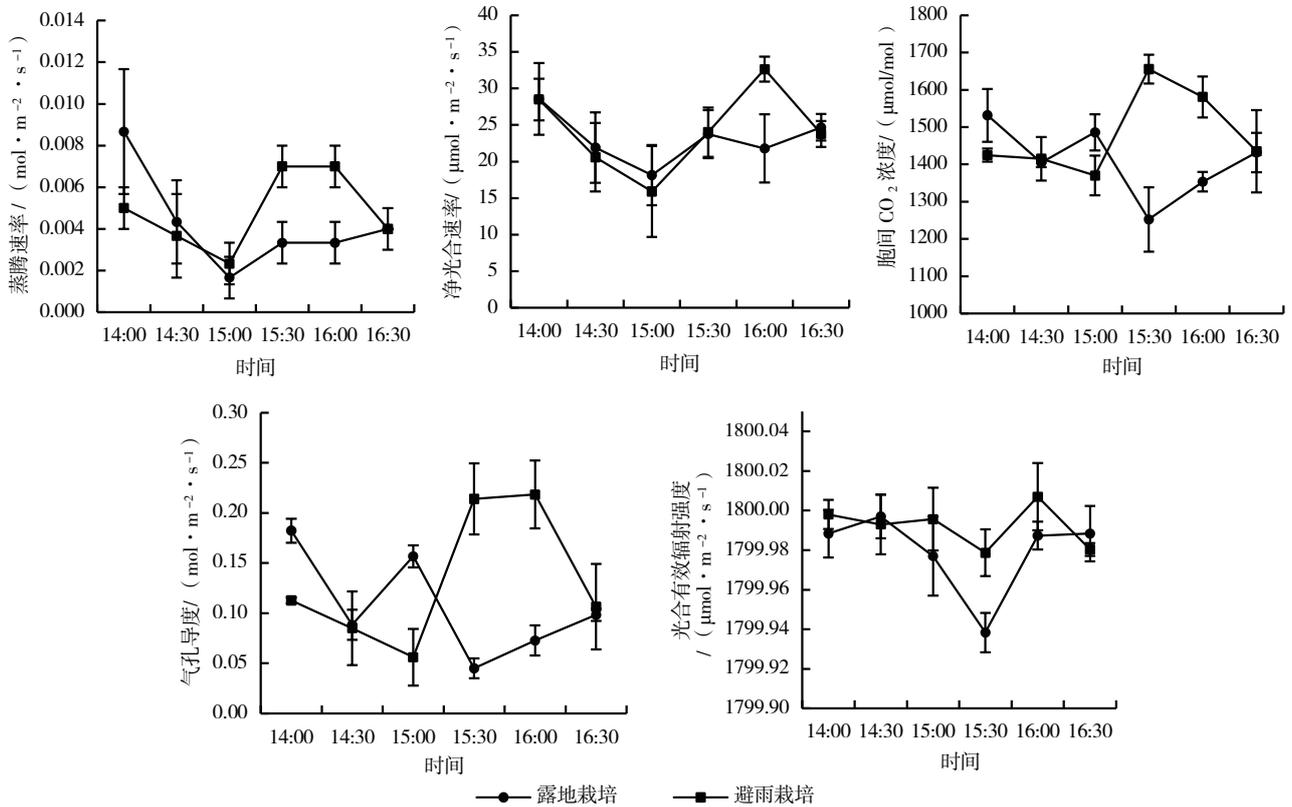


图 2 果实成熟期不同栽培模式下桂七芒果光合因子的变化

胞间 CO₂ 浓度、光合有效辐射强度、叶室 CO₂ 浓度、气孔导度、气孔限制值、蒸腾速率、水分利用效率对净光合速率的影响不一致。露地栽培综合排序为胞间 CO₂ 浓度 > 光合有效辐射强度 > 叶室 CO₂ 浓度 > 气孔导度 > 气孔限制值 > 蒸腾速率 > 水分利用效率, 避雨栽培综合排序为光合有效辐射强度 > 叶室 CO₂ 浓度 > 胞间 CO₂ 浓度 > 蒸腾速率 > 气孔限制值 > 气孔导度 > 水分利用效率。

表 1 不同栽培模式下芒果净光合速率与各因子关联度排序

指标	露地栽培		避雨栽培	
	相关值	排序	相关值	排序
胞间 CO ₂ 浓度	0.822	1	0.712	3
光合有效辐射强度	0.773	2	0.727	1
叶室 CO ₂ 浓度	0.767	3	0.724	2
气孔导度	0.639	4	0.558	6
气孔限制值	0.627	5	0.569	5
蒸腾速率	0.608	6	0.701	4
水分利用效率	0.572	7	0.557	7

2.4 芒果叶片光合生理因子和生态因子相关性分析

表 2 为避雨栽培光合生理因子与生态因子的相关性分析结果。各光合参数间相关性表明, 净光合速率与蒸腾速率、胞间 CO₂ 浓度、气孔导度和空气相对湿度均呈极显著正相关, 净光合速率与叶室 CO₂ 浓度和气孔限制值均呈极显著负相关。表 3 为露地栽培光合生理因子与生态因子的相关性分析结果。各光合参数间相关性表明, 净光合速率与蒸腾速率、气孔导度均呈极显著正相关, 净光合速率与叶室 CO₂ 浓度、气孔限制值和水分利用效率均呈极显著负相关。以上表明, 避雨栽培叶片蒸腾作用越强净光合速率越高, 胞间 CO₂ 浓度越高。

2.5 避雨栽培对植株生长及果实品质的影响

由表 4 可以看出, 避雨栽培结果枝粗度比露地栽培小, 差异不显著。避雨栽培和露地栽培叶片 SPAD 值差异也不显著。避雨栽培和露地栽培无胚果、有胚果平均单果重均存在显著差异。避雨栽培有胚果和无胚果的果形指数、可食率、维生素 C 含量、糖酸比均差异显著, 露地栽培差异均不显著。

表 2 避雨栽培光合生理因子与生态因子相关性

指标	蒸腾速率	净光合速率	胞间 CO ₂ 浓度	气孔导度	光合有效辐射强度	叶室 CO ₂ 浓度	气孔限制值	水分利用效率	空气相对湿度	气温
蒸腾速率	1.000									
净光合速率	0.811***	1.000								
胞间 CO ₂ 浓度	0.888***	0.474**	1.000							
气孔导度	0.966***	0.710***	0.921***	1.000						
光合有效辐射强度	0.019	0.112	-0.141	0.045	1.000					
叶室 CO ₂ 浓度	-0.921***	-0.973***	-0.659***	-0.850***	-0.086	1.000				
气孔限制值	-0.913***	-0.526**	-0.998***	-0.940***	0.125	0.703***	1.000			
水分利用效率	-0.753***	-0.320	-0.872***	-0.730***	0.117	0.485**	0.862***	1.000		
空气相对湿度	0.940***	0.807***	0.833***	0.947***	-0.001	-0.908***	-0.860***	-0.614***	1.000	
气温	-0.291	0.056	-0.466*	-0.378	-0.040	0.076	0.448*	0.324	-0.143	1.000

注: *表示在 0.1 水平显著相关, **表示在 0.05 水平极显著相关, ***表示在 0.01 水平极显著相关。下表同。

表 3 露地栽培光合生理因子与生态因子相关性

指标	蒸腾速率	净光合速率	胞间 CO ₂ 浓度	气孔导度	光合有效辐射强度	叶室 CO ₂ 浓度	气孔限制值	水分利用效率	空气相对湿度	气温
蒸腾速率	1.000									
净光合速率	0.813***	1.000								
胞间 CO ₂ 浓度	0.772***	0.459*	1.000							
气孔导度	0.935***	0.738***	0.845***	1.000						
光合有效辐射强度	0.287	0.235	0.513**	0.194	1.000					
叶室 CO ₂ 浓度	-0.944***	-0.957***	-0.638***	-0.878***	-0.259	1.000				
气孔限制值	-0.810***	-0.515**	-0.998***	-0.874***	-0.502**	0.687***	1.000			
水分利用效率	-0.859***	-0.587**	-0.892***	-0.806***	-0.577**	0.742***	0.904***	1.000		
空气相对湿度	-0.182	0.287	-0.168	-0.072	0.016	-0.070	0.154	0.314	1.000	
气温	0.162	-0.137	0.012	0.043	-0.177	-0.009	-0.014	-0.187	-0.866***	1.000

表 4 不同栽培模式下植株生长状况及果实品质

栽培模式	结果枝粗度 /cm	SPAD 值	平均单果重 /g	果形指数	可食率 /%	维生素 C 含量 / (mg/kg)	糖酸比	
避雨栽培	有胚果	6.89 ± 1.29 a	58.43 ± 10.03 a	260 ± 10 a	2.14 ± 0.11 a	55.36 ± 3.61 b	74.9 ± 39.1 b	13.67 ± 2.04 b
	无胚果			110 ± 10 b	1.90 ± 0.11 c	63.20 ± 4.17 a	189.9 ± 72.7 a	19.19 ± 2.96 a
露地栽培	有胚果	7.93 ± 0.02 a	60.48 ± 13.05 a	250 ± 30 a	2.04 ± 0.08 b	60.70 ± 2.53 a	157.1 ± 57.8 a	18.38 ± 1.50 a
	无胚果			80 ± 10 c	1.99 ± 0.08 b	64.10 ± 3.99 a	176.2 ± 39.7 a	17.62 ± 2.53 a

注: 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

3 讨论与结论

广西百色地区花期连续阴雨天气会影响芒果坐果率, 而避雨栽培能在一定程度上缓解不利影响。古咸彬等^[17]研究发现, 猕猴桃避雨栽培和露地栽培最高气温达到 40 °C; 避雨栽培全天空气相对湿度高于露地栽培, 最高空气相对湿度高于 75%, 最低为 40%。何永波等^[18]研究发现, 宫枣避雨栽培最高气温接近 40 °C, 最低为 23 °C; 最高空气相对湿度达到 75%, 最低为 40%。本研究以桂七芒果为研究材料, 在广西百色地区实施避

雨栽培, 避雨栽培最高气温为 35.5 °C, 最低气温为 26.9 °C; 露地栽培最高气温为 34.8 °C, 最低气温为 24.5 °C。与猕猴桃和宫枣相比, 芒果空气相对湿度的全天变化差异较大, 避雨栽培最高空气相对湿度超过 80%, 最低为 39.4%; 露地栽培最高空气相对湿度为 95.2%, 最低为 60.5%。此外, 许天文等^[14]研究表明, 避雨栽培和露地栽培空气相对湿度变化范围为 60.0% ~ 85.0%, 较百色地区湿度变化范围区间小。

光合作用影响果树的产量和品质, 对环境条件的变化非常敏感。本研究发现, 芒果果实膨大

期避雨栽培条件下平均净光合速率高于露地栽培。此结果与许文天等^[14]、王志强等^[19]和姜卫兵等^[20]的研究结果一致, 均认为避雨栽培条件对光合作用的影响可能与设施栽培模式、气候环境条件和果实种类密切相关。

此外, 本研究中桂七芒果避雨栽培条件下净光合速率与胞间 CO₂ 浓度、气孔导度、空气相对湿度均存在极显著正相关。避雨栽培条件下平均气温、平均气孔导度、平均胞间 CO₂ 浓度均高于露地栽培。杨晓娟等^[21]通过研究极端高温条件下对枣光合特性的影响, 发现净光合速率与胞间 CO₂ 浓度呈负相关, 这与本研究结果有出入。百色地区是我国重要的热区, 适宜芒果栽培, 芒果叶片可以在高温环境条件下提高光合速率。

本研究结果表明, 避雨栽培条件下芒果净光合速率与光合有效辐射强度关联最密切, 叶室 CO₂ 浓度次之。芒果果实膨大期出现持续高温会影响叶片胞间 CO₂ 浓度。在对新疆伏脆蜜枣和红枣高温胁迫后, 发现室内高温条件下, 引起气孔导度和蒸腾速率的变化, 最终影响枣树光合速率的变化^[21-22]。芒果果实膨大期正值生长季中持续高温、高强度、高湿阶段, 该阶段露地栽培芒果叶片光合作用与胞间 CO₂ 浓度关联度最大, 光合有效辐射强度次之; 而在避雨栽培条件下光合有效辐射强度是光合作用的主要限制因子, 这与广东湛江避雨栽培芒果的结论一致^[14]。这可能是由于棚膜的遮挡降低了光合有效辐射强度和空气相对湿度, 进而提高了避雨栽培芒果的净光合速率。

在广西百色地区实施避雨栽培技术, 能够显著减少芒果盛花期因恶劣天气导致的落花落果现象, 降低盛花期病害的发生, 并且提升了无胚果的单果重, 从而提高了果实的整体品质。这一成效可能归因于避雨栽培对植株微生物环境的改善。王紫寒等^[23]和付亚群等^[24]研究发现, 避雨栽培可以通过改善葡萄植株的微环境, 影响碳元素的分配, 改变多酚和挥发性物质的代谢, 最终提高葡萄的果实品质。

本研究结果表明, 避雨栽培技术可以显著提升芒果的净光合速率, 提高单果重, 并改善果实的整体品质, 从而促进芒果优质果的生产。

参考文献

- [1] 陈业渊, 党志国, 林 电, 等. 中国芒果科学研究 70 年. 热带作物学报, 2020, 41 (10): 2034-2044.
- [2] 李 曦, 王烨熔, 黄慧俐, 等. 百色芒果栽培种果实品质多样性分析. 热带作物学报, 2022, 43 (4): 714-721.
- [3] 黄国弟, 陈豪军, 李日旺. 优质芒果新品种——桂热芒 82 号. 农业科技通讯, 2005 (5): 50.
- [4] 陈佳鑫, 廖钦洪, 黄雅淇, 等. 不同栽培模式对红阳猕猴桃果实生长发育及品质的影响. 核农学报, 2023, 37 (7): 1435-1441.
- [5] 李延菊, 孙庆田, 张 序, 等. 甜樱桃防霜避雨设施栽培技术. 落叶果树, 2014, 46 (1): 42-44.
- [6] 杨天仪, 陈履荣, 黄寿波, 等. 上海地区绯红葡萄促成与避雨栽培的研究. 果树科学, 2000, 17 (2): 83-88.
- [7] 黄永红, 曾继吾, 周碧容, 等. 避雨栽培对‘龙门年橘’留树保鲜期间果实品质的影响. 园艺学报, 2009, 36 (7): 1049-1054.
- [8] 刘 飘, 涂美艳, 宋海岩, 等. 避雨栽培对猕猴桃叶片生理生化指标及果实品质的影响. 西南农业学报, 2022, 35 (1): 43-49.
- [9] 张艺琴, 田燕燕, 张画喜, 等. 避雨盆栽和露地栽培对特早熟柑橘‘由良’果实发育和品质的影响. 农业研究与应用, 2022, 35 (6): 17-24.
- [10] 周守航, 王海珍, 陈 苗, 等. 设施栽培下两个软枣猕猴桃品种光合特性研究. 果树资源学报, 2023, 4 (2): 20-23.
- [11] 戴美松, 姜卫兵, 庄 猛, 等. 江南地区大棚促成一避雨栽培下葡萄品种光合特性的比较. 园艺学报, 2006, 33 (1): 17-22.
- [12] 吴亚维, 冯建文, 宋 莎, 等. 贵州中部避雨栽培对 4 个甜樱桃品种光合特性的影响. 中国南方果树, 2019, 48 (3): 112-117.
- [13] 武红霞, 王松标, 马蔚红, 等. 不同除袋时期对红芒 6 号芒果果实品质的影响. 热带作物学报, 2009, 30 (10): 1458-1461.
- [14] 许文天, 武红霞, 罗 纯, 等. 避雨栽培对芒果开花结果期生态因子及光合作用的影响. 南方农业学报, 2015, 46 (9): 1636-1641.
- [15] 武红霞, 王松标, 姚全胜, 等. 避雨栽培对芒果产量和品质的影响研究初报. 热带作物学报, 2012, 33 (12): 1-7.
- [16] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2006: 268-270.
- [17] 古威彬, 郭书艳, 陆玲鸿, 等. 避雨栽培对‘红阳’猕猴桃光合作用及果实品质的影响. 中国果树, 2021 (3): 63-67.
- [18] 何永波, 薛新平, 贾民隆, 等. 设施栽培对宫寒光合特性的影响. 山西农业科学, 2020, 48 (4): 571-575, 579.
- [19] 王志强, 何 方, 牛 良, 等. 设施栽培油桃光合特性研究. 园艺学报, 2000, 27 (4): 245-250.
- [20] 姜卫兵, 戴美松, 庄 猛, 等. 长三角地区大棚避雨栽培下不同生态适应型葡萄的光合特性. 应用生态学报, 2006, 17 (8): 1439-1442.
- [21] 杨晓娟, 靳 娟, 樊丁宇, 等. 极端高温环境对骏枣和伏脆蜜枣光合特性的影响. 新疆农业科学, 2023, 60 (7): 1679-1688.
- [22] 柴仲平, 王雪梅, 孙 霞, 等. 红枣光合特性与水分利用效率日变化研究. 西南农业学报, 2010, 23 (1): 168-172.
- [23] 王紫寒, 张 伟, 关利平, 等. 避雨栽培对泽香葡萄微环境和果实品质的影响. 中外葡萄与葡萄酒, 2015 (3): 14-17.
- [24] 付亚群, 高 媛, 孟 楠, 等. 避雨栽培对‘赤霞珠’葡萄绿叶挥发性组分含量的影响. 果树学报, 2017, 34 (12): 1566-1579.