

光伏幕墙对阳台微环境及西瓜生长的影响

赵永超¹, 陈玉保¹, 唐伊恋², 兰青^{1*}, 邓佳¹

(1. 云南师范大学太阳能研究所, 云南昆明 650500; 2. 昆明学院机电工程学院, 云南昆明 650214)

摘要 [目的]研究光伏幕墙对阳台微环境的影响以及在此微环境中西瓜的生长状况。[方法]以“甜王一号”西瓜品种为试材,栽培于阳台种植箱内,并对阳台微环境及西瓜质量和外观形态进行分析。[结果]在晴天条件下,室内阳台的温度为 23.7~32.2℃,相对湿度为 28.8%~49.2%,CO₂ 浓度为 329.2~348.5 mg/L,光伏幕墙平均透光率为 46.4%;在阴天条件下,室内阳台的温度为 23.2~26.1℃,相对湿度为 43.7%~52.1%,CO₂ 浓度为 330.9~345.5 mg/L;09:00—11:30,西瓜叶片的叶绿素含量随着光照强度的增加而增加,当光照强度为 44 300 lx 时,西瓜叶片的叶绿素含量达到最大值(42.5 mg/g)。测量了西瓜的质量和外观形态,最大单果质量为 2.61 kg,纵横径分别为 15.57 和 14.64 cm。[结论]在光伏幕墙的微环境下西瓜能正常生长并成功结出果实。

关键词 光伏幕墙;阳台微环境;西瓜生长

中图分类号 S214 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)24-0207-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.24.059



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Photovoltaic Curtain Wall on Balcony Microclimate and the Growth of Watermelon

ZHAO Yong-chao¹, CHEN Yu-bao¹, TANG Yi-lian² et al (1. Solar Energy Research Institute, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650500; 2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University, Kunming, Yunnan 650214)

Abstract [Objective] To study the effects of photovoltaic curtain wall on balcony microclimate and watermelon's growth. [Method] "Tianwang No.1" watermelon variety was taken as test materials and cultivated in the planting box of balcony. And the balcony microclimate and the quality, appearance of watermelon were analyzed. [Result] Under sunny conditions, the temperature of indoor balcony was 23.7–32.2℃, the relative humidity was 28.8%–49.2%, the concentration of CO₂ was 329.2–348.5 mg/L, and the average transmittance of photovoltaic curtain wall was 46.4%. Under cloudy conditions, the temperature of indoor balcony was 23.2–26.1℃, the relative humidity was 43.7%–52.1%, and the concentration of CO₂ was 330.9–345.5 mg/L. From 09:00 to 11:30, the chlorophyll content in watermelon leaves increased with the rise of light intensity. When the light intensity was 44 300 lx, the chlorophyll content in watermelon leaves reached the maximum(42.5 mg/g). The quality and appearance of watermelon were measured. The measurement results showed that the maximum single fruit mass was 2.61 kg, and the longitudinal and traverse diameter of watermelon fruit were 15.57 and 14.64 cm, respectively. [Conclusion] The watermelon could grow and fruit successfully under the microclimate of photovoltaic curtain wall.

Key words Photovoltaic curtain wall; Balcony microclimate; Watermelon's growth

光伏幕墙在建筑一体化应用中能获得可观的社会效益和生态效益,并兼顾了良好的室内透光性^[1]。马铭等^[2]曾对云南师范大学 120 kW 半透明双玻光伏幕墙系统进行测试分析,结果表明其 4 h 发电量为 232 kW·h,但对光伏幕墙遮阴下的室内环境并未进行研究。由于双玻组件具有一定的透光性,可在其下方种植蔬果等农作物,有学者研究了在该光伏组件部分遮阴的温室种植番茄的生长状况,结果表明在光伏组件产生电力时并不影响番茄的生长^[3]。近年来,利用阳台的有效空间来种植蔬果的研究逐渐增加,一部分温室种植的蔬果被种植于阳台上,包括生菜^[4-5]、黄瓜^[6-7]、番茄^[8-9]、韭菜^[10-11]等,但针对西瓜的阳台种植研究尚未多见。西瓜原产于非洲属葫芦科的一年生蔓性草本植物^[12]。西瓜含有丰富的多种矿物质和维生素成分^[13],2016 年我国西瓜生产面积为 153.3 万~166.7 万 hm²,位于世界生产面积前列^[14]。西瓜大多采用日光温室种植,已有研究发现适宜西瓜生长的温室内环境温度为 10.67~29.95℃,相对湿度为 52.40%~94.26%,CO₂ 浓度为 455~631 mg/L,光照强度为 268.37~

13 842.60 lx^[15]。但目前国内针对光伏幕墙下阳台种植的相关研究涉及不多,尤其是针对西瓜的阳台种植相关研究较为少见。

基于以上研究结果,该研究通过对光伏幕墙下的阳台微环境变化为主要目的,并研究该环境对西瓜生长的影响。笔者探讨光伏幕墙下的环境因子适宜阳台设施西瓜生长的可行性,将太阳能与阳台设施的结合,充分利用阳台有效面积,旨在为阳台西瓜的健康生长及以后的研究工作提供一定的理论与实践基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试阳台的总长度为 20 m,宽度为 2.5 m,高度为 15 m。供试西瓜品种为北京华耐农业发展有限公司培育而成的“甜王一号”,属中早熟、小型西瓜品种。供试种植容器为长方形种植箱,种植箱长 55 cm,宽 45 cm,高 40 cm。供试基质为保水性、保肥、透气的富含矿物质、草炭、珍珠石、蛭石、椰糠的基质与普通园艺土壤 1:1 配制。供试肥料采用水肥一体化含氮(N 22%)、磷(P₂O₅ 14%)、钾(K₂O 14%)、钙(CaO 1.2%)、镁(MgO 0.5%)的水溶性肥料,水肥溶剂配比按照 400:1 进行。供试验所测量的仪器设备如表 1 所示。

1.2 试验方法 试验在云南师范大学太阳能研究所的光伏幕墙下阳台内进行。地址位于云南省昆明市(102.68°E, 25.07°N),平均海拔约 1 891 m,属于亚热带高原山地季风气候,年平均气温 15℃左右^[16]。为了对阳台设施环境因子进

基金项目 国家自然科学基金项目(21266032);云南省应用基础研究计划重点项目(2019FA004);国家国际科技合作专项(2015DFA60120)。

作者简介 赵永超(1995—),男,河南信阳人,硕士研究生,研究方向:设施农业、光伏农业、农业管理。*通信作者,副教授,博士,硕士生导师,从事太阳能热利用方面的研究。

收稿日期 2020-05-10;修回日期 2020-06-02

行监控并对其进行数据分析,使用 TRM-2 型数据采集仪,在阳台室内外各水平放置 1 个总辐射表测量太阳辐射瞬时值及累计值;在阳台室内外各放置 1 个温湿度记录仪和 CO₂ 传感器,室内温湿度记录仪和 CO₂ 传感器悬挂距离阳台地面 1.0 m 高度的中心位置,用以测量室内温度、相对湿度和 CO₂

浓度。室外放置温湿度记录仪、CO₂ 传感器和太阳总辐射表与室内设备同时测量。为了验证西瓜生长状况,试验共设计 4 个样本 T₁、T₂、T₃、T₄,每个样本处理 3 次重复,共 12 个小区。经过催芽育苗后,于 2019 年 4 月 15 日在阳台种植箱内定植,定植箱间距为 40 cm×80 cm,后期管理按照日常管理进行。

表 1 测试设备精度及量程
Table 1 Accuracy and range of measuring devices

序号 No.	设备名称 Name of devices	型号 Type	量程 Range	精度 Accuracy
1	太阳辐射总表	TBQ-2	0~2 000 W/m ²	±2% W/m ²
2	温湿度记录仪	TH12R-EX	0~100%	±2%
3	CO ₂ 传感器	JXBS-7001	0~5 000 mg/L	±50 μL/L
4	光照强度传感器	GLZ-C	0~200 000 lx	±2%
5	叶绿素测试仪	RYNY-128	-9.9~199.9 SPAD	±1.0 SPAD
6	电子天平秤	YH-400A	0~5 000 g	±(0.1~0.3) g
7	钢卷尺	DL9010B	0~3 cm	±1.1 mm

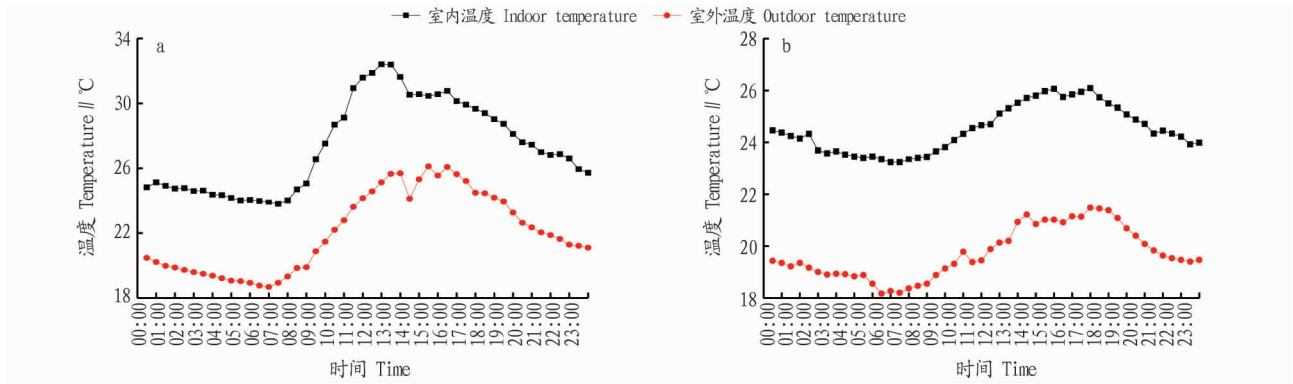
1.3 测定项目与方法 选择西瓜的开花期到结果期(2019 年 5 月 20 日~7 月 25 日)比较典型的 10 d 晴天和阴天条件下。全天 24 h,每隔 30 min 测定阳台室内及室外的温度、相对湿度、CO₂ 浓度,并对相同天气状况的相同时刻计算平均值;每隔 10 min 测定太阳辐射瞬时值、太阳辐射累计值、光照强度;采用手持 RYNY-128 叶绿素测试仪,从 09:00 到 11:30 每隔 30 min 测定阳台西瓜叶片的叶绿素含量,对相同的西瓜叶片测量 3 次并做好数据记录,并对同时刻求平均值。待西瓜结果后,每隔 5 d 使用电子天平秤测量单果质量,取其平均单瓜质量。使用钢卷尺同步测量果实纵径和横径。

1.4 数据统计与分析 使用 Origin 8.5 和 Excel 2010 软件对试验数据进行绘图与分析。

2 结果与分析

2.1 阳台温度变化 一天温度变化中,晴天和阴天条件下阳

台室内及室外温度变化趋势基本一致。图 1 为典型天气条件下阳台室内外温度的日变化曲线。如图 1a 所示,晴天条件下室内与室外温差较大,08:00—12:00 时间段阳台室内温度由于温室效应的原因,比室外温度上升较快。12:30 室外温度为 25.0 ℃时,室内温度出现 32.2 ℃的峰值,室内比室外温度高 7.2 ℃。室内温度 13:30 左右开始有所下降,并在 15:00 室内外出现 4.3 ℃的最低温差。14:00—17:00 保持一段平缓的趋势,原因是太阳辐照逐渐降低光伏幕墙起着良好的保温作用。17:00 以后,太阳辐照逐渐消失,室外温度急剧下降,因此室内温度也随之下降。室内的日平均温度为 27.2 ℃,日最高和最低温度分别为 32.2 和 23.7 ℃,室外的日平均温度为 22.0 ℃,日最高温度、日最低温度分别为 26.0 和 18.7 ℃,室内外平均温差为 5.2 ℃。



注:a.晴天;b.阴天
Note: a. Sunny days; b. Cloudy days

图 1 阳台室内外温度的变化
Fig.1 Changes of indoor and outdoor temperature of balcony

如图 1b 所示,在阴天条件下,白天室内外增温幅度较小,从 07:00 起室内开始增温,此时室内出现最低温度(23.2 ℃)。15:30,当室外温度为 21.0 ℃时,室内温度出现最大值(26.1 ℃),室内温度比室外温度高 5.1 ℃。16:30,室内外出现 5.2 ℃的最低温差,比晴天最低温差高 0.9 ℃。室内

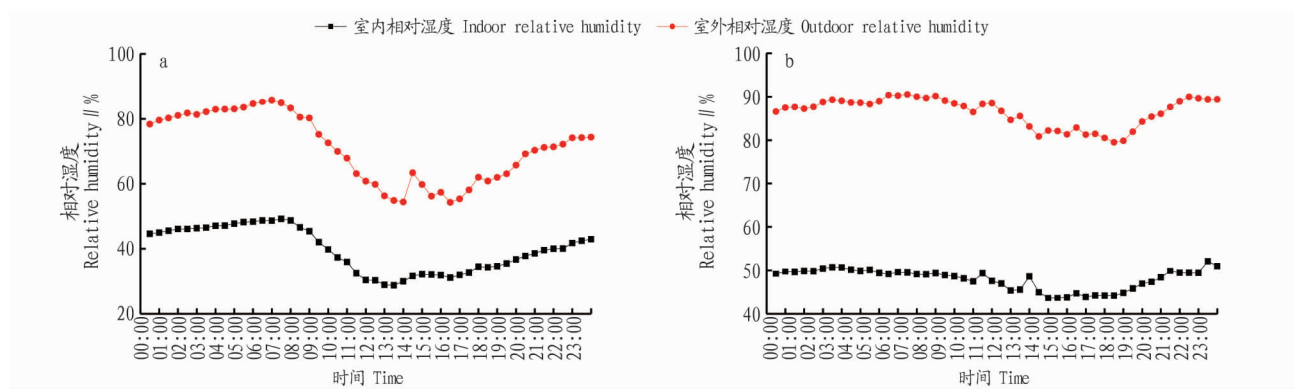
日平均温度、日最高温度和日最低温度分别为 24.5、26.1 和 23.2 ℃,室外日平均温度、日最高温度和日最低温度分别为 19.7、21.5 和 18.2 ℃,室内日平均温度比室外高 4.8 ℃。因此,在 2 种天气条件下室内平均温度均比室外平均温度高 5.0 ℃。

综上所述,阳台设施西瓜在晴天条件下,供试阳台表现出高温的环境特点,日平均温度变化范围为 23.7~32.2℃,阴天条件下日平均温度变化范围为 23.2~26.1℃。

2.2 阳台相对湿度变化 室内外相对湿度的变化取决于室内外温度及光照强度的变化。由于西瓜采用种植箱种植,选择定期、定量的进行灌溉,当室内温度和太阳辐射强度变化较大时,由于植株的蒸腾作用基质水分消耗较快,与室外相对湿度相比,室内的相对湿度比室外低。因此,在室内相对湿度较低的环境中,为保证西瓜植株的正常生长,要做好定期灌溉防止种植箱基质过于干燥,造成西瓜植株死亡现象。

不同天气状况下,不同相对湿度影响西瓜的生长。图 2a 为在晴天条件下阳台室内外相对湿度的日变化曲线。

00:00—07:00 时间段内,室内外相对湿度呈现小幅度的上升趋势,当 06:30 室外日相对湿度最大值为 85.7% 时,室内外出现日最高相对湿度差,为 37.1%,07:00 室外相对湿度为 85.0%,此时室内相对湿度出现最大值,为 49.2%。08:00—13:30,随着温度的上升,室内外相对湿度下降更加明显,分别下降了 16.6% 和 26.2%,此时 13:00 室内日相对湿度出现最小值,为 28.8%;16:00 室外相对湿度最小值为 54.3%,室内外出现日最小相对湿度差,为 23.2%;17:00 以后,随着室内外温度的逐渐下降,室内外相对湿度也出现逐渐上升状态,该时段室内外相对湿度变化趋势相近。室内日平均相对湿度为 39.7%,室外日平均相对湿度为 71.1%,室内外日平均相对湿度差为 31.4%。



注:a.晴天;b.阴天
Note:a.Sunny days;b.Cloudy days

图 2 阳台室内外相对湿度的变化

Fig.2 Changes of indoor and outdoor relative humidity of balcony

在阴天条件下,图 2b 为阳台室内外相对湿度日变化曲线。由于一天内温度变化较小,室内外相对湿度变化幅度也相对较小。从 00:00 开始室内相对湿度一直呈平缓趋势,06:00 时室内相对湿度为 49.2%,此时室内外出现日最高相对湿度差,为 41.2%;14:30 时室内相对湿度为 48.6%,此时室内外出现日最低相对湿度差,为 34.5%;14:30 时室外相对湿度为 82.2%,室内日相对湿度出现最小值,为 43.7%;18:30 以后,室内外相对湿度有所上升,23:00 时室内日相对湿度出现最大值,为 52.1%。室内日平均相对湿度为 48.0%、室外日平均相对湿度为 86.5%、室内外日最高和最低相对湿度差为 41.2% 和 34.5%、室内外日平均相对湿度差为 38.5%。

综上所述,阳台设施西瓜在晴天条件下日平均相对湿度为 28.8%~49.2%,阴天条件下日平均相对湿度为 43.7%~52.1%。

2.3 阳台 CO₂ 浓度变化 在阳台种植下西瓜作物长期处于相对密闭的环境中,阳台室外的 CO₂ 浓度远远大于室内的 CO₂ 浓度。图 3a 为晴天条件下的阳台室内外 CO₂ 浓度变化对比。全天室外 CO₂ 浓度变化相比室内波动较大,06:30 时室内 CO₂ 浓度为 334.0 mg/L 时,室外 CO₂ 浓度达到最大值(551.3 mg/L),此时室内外出现日最高 CO₂ 浓度差 217.3 mg/L;08:00—19:00,室内日 CO₂ 浓度从 08:00 时最低值(329.2 mg/L)上升到 15:00 时最高值(348.5 mg/L);16:00 时室内 CO₂ 浓度为 345.2 mg/L 时,室外 CO₂ 浓度达到最小

值(424.9 mg/L),此时室内外出现日最低 CO₂ 浓度差 79.7 mg/L。室外日平均 CO₂ 浓度为 487.8 mg/L,室内日平均 CO₂ 浓度为 338.1 mg/L,比室内高 30.7% 左右。因此,为了满足植物光合作用的需求,室内在必要条件下要定期保持与室外良好的通风来提高室内 CO₂ 浓度。

图 3b 为阴天条件下的阳台室内外 CO₂ 浓度变化对比,全天室内外 CO₂ 浓度变化趋势与晴天条件下类似。全天室内 CO₂ 浓度波动较小,07:30 和 22:00 出现最小值与最大值分别为 330.9 和 345.5 mg/L,其日平均 CO₂ 浓度为 337.2 mg/L;室外 CO₂ 浓度波动较大,06:30 时室内 CO₂ 浓度为 334.0 mg/L 时,室外 CO₂ 浓度达到最大值(522.4 mg/L),此时室内外出现日最高 CO₂ 浓度差 188.4 mg/L;18:30 时室内 CO₂ 浓度为 340.0 mg/L 时,室外 CO₂ 浓度达到最小值 424.6 mg/L,此时室内外出现日最高 CO₂ 浓度差 84.6 mg/L;日平均 CO₂ 浓度为 478.4 mg/L,室内外日平均 CO₂ 浓度差为 141.2 mg/L。

综上所述,阳台设施西瓜在晴天条件下,日平均 CO₂ 浓度变化为 329.2~348.5 mg/L;阴天条件下,日平均 CO₂ 浓度变化为 330.9~345.5 mg/L。

2.4 光伏幕墙下的阳台光照环境 光伏幕墙作为利用太阳能与现代建筑相结合的一种形式,在位于云南师范大学太阳能研究所内的南立面屋顶处,建设有幕墙面积 1 560 m² 光伏幕墙建筑物,由于幕墙立面和顶处装有 720 块半透明光伏组

件,每个组件长宽高为 1 985 mm×1 038 mm×13.52 mm,并由 64 片 12 cm×12 cm 的单晶硅太阳能电池串联构成,其余面积为玻璃,每块峰值功率为 170 W,光电转换效率为 8.25%,其发电的同时对室内阳台光照环境产生了一定影响。太阳辐射

在照射光伏幕墙不同位置进入室内的辐照度不同。因此,为了更进一步确定该光伏幕墙的透光率和辐照度条件,该试验在晴天条件下于 2019 年 11 月 21—25 日连续 5 d 对阳台室内外进行数据测试。

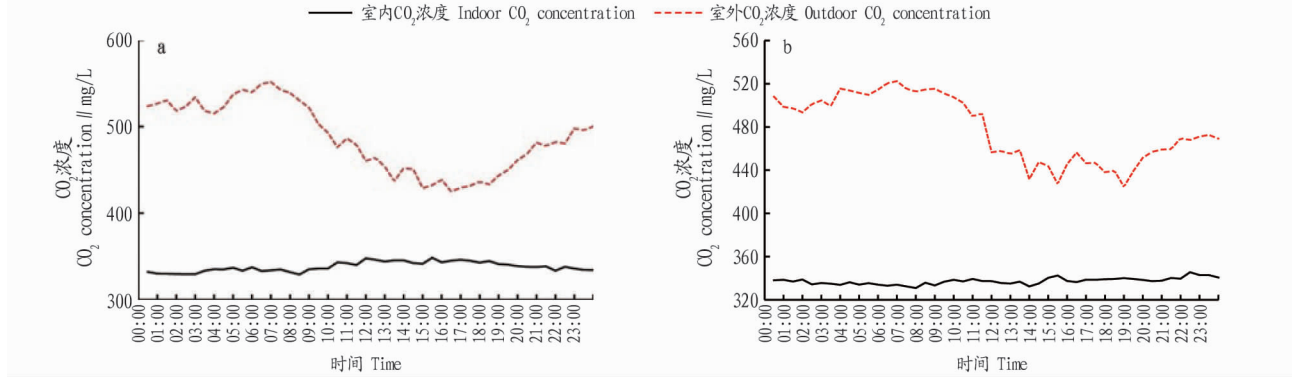


图 3 阳台室内外 CO₂ 浓度变化

Fig.3 Changes of indoor and outdoor CO₂ concentration of balcony

如图 4 所示,经过长期测试可知,选取连续测试的 5 d 室内外辐照累计值,其中 11 月 22 日、23 日、24 日室外日辐照累计值分别为 25.73、25.97、25.22 MJ/m²,接近实践地区理想晴天状态下的 25.00 MJ/m²。图 5 为 09:00 到 18:00 测得阳台室内外日辐照瞬时值对比。由于受室内建筑物结构的影响,太阳辐照瞬时值波动较大,而室外日辐照瞬时值除少数时刻波动外,大致趋势总体一致。10:30—13:00,室内辐照瞬时值波动范围最大;10:50 时,当 11 月 22 日和 11 月 23 日室外辐照瞬时值为 964 和 954 W/m² 时,此时室内辐照瞬时值分别达到最大值 549 和 565 W/m²;12:50 时,11 月 24 日室外辐照瞬时值为 1 190 W/m²,室内辐照瞬时值达到最大值 (527 W/m²);13:00—18:00,室内外日辐照瞬时值随太阳光照强度变弱而逐渐降低。综上计算得出阳台光伏幕墙的平均透光率为 46.4%。

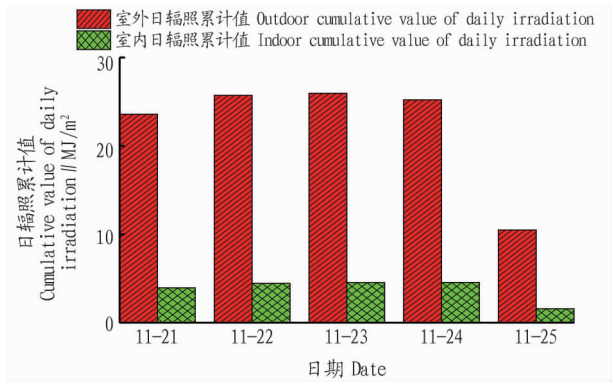


图 4 阳台室内外日辐照累计值

Fig.4 Indoor and outdoor cumulative value of daily irradiation of balcony

2.5 西瓜叶片对阳台光照环境的响应 光伏幕墙影响了阳台的光照环境,从而影响西瓜叶片叶绿素的含量。在典型晴天条件下,连续 7 d 测定了西瓜叶片叶绿素含量对光照强度的响应,并对采集数据进行绘图分析。如图 6 所示,试验中 4 个样本 T₁、T₂、T₃、T₄ 分别对应的叶绿素含量和光照强度为

C₁、C₂、C₃、C₄ 和 L₁、L₂、L₃、L₄。从 09:00 开始测量,西瓜叶片的 4 个样本在 11:30 达到最大值,此时 L₁ 为 32 000 lx,C₁ 为 31.4 mg/g;L₂ 为 35 500 lx,C₂ 为 36.1 mg/g;L₃ 为 36 140 lx,C₃ 为 36.7 mg/g;L₄ 为 44 300 lx,C₄ 为 42.5 mg/g,则在该时段受到光照强度最大的植株 T₄,叶绿素含量最大。11:30 时西瓜叶片的叶绿素含量 C₁、C₂、C₃、C₄ 比 09:00 时分别提高 8.0、5.5、5.9 和 8.0 mg/g。结果表明,当光照强度为 32 000~44 300 lx 时叶绿素含量较高,样本 T₁~T₄ 西瓜叶片的叶绿素含量随着光照强度增加而增长,从而提高了西瓜叶片光合作用能力,促进了西瓜生长。

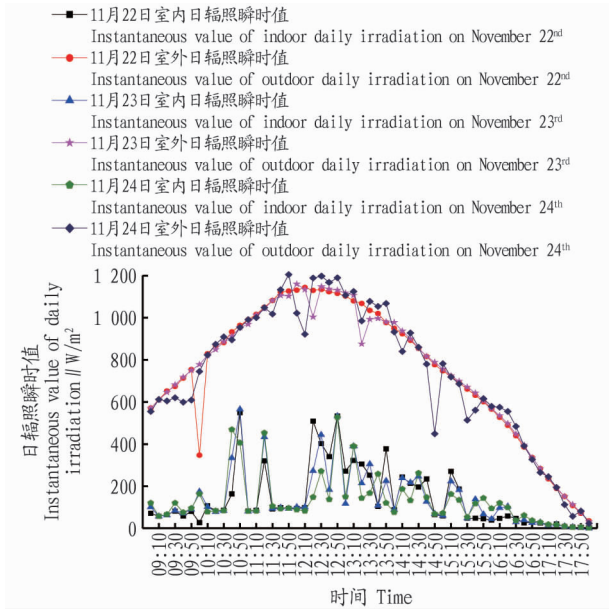


图 5 阳台室内外日辐照瞬时值对比

Fig.5 The instantaneous value comparison of indoor and outdoor daily irradiation of balcony

2.6 西瓜质量和果实外观形态 在光伏幕墙下的阳台上成功种植了西瓜样本,并且每个样本均结出西瓜果实。由表 2 可知,西瓜样本 T₄ 果实单果质量最大,达到 2.61 kg;样本 T₁ 果实

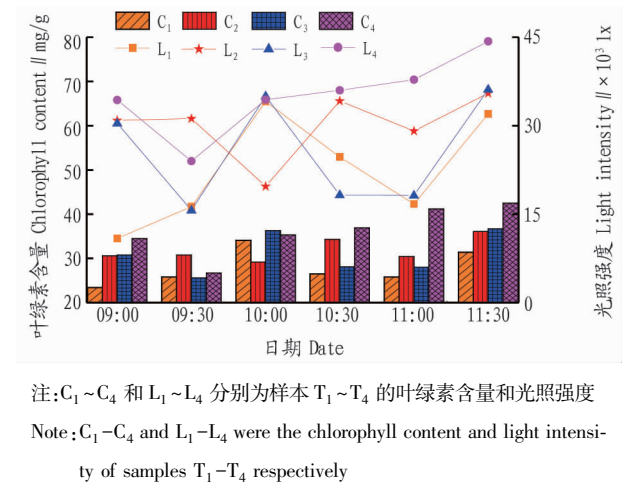


图 6 西瓜叶片对光照强度的响应

Fig.6 Response of watermelon leaves to light intensity

单果质量最小,为 1.31 kg;样本 T₄ 的单果质量比样本 T₁、T₂ 和 T₃ 分别高 1.30、0.99 和 0.26 kg。西瓜的样本 T₁ 果实纵横径均最小,分别为 9.81 和 9.43 cm;样本 T₄ 的果实纵横径均最大,分别为 15.57 和 14.64 cm,其西瓜果皮厚度最厚 (10.18 mm),比 T₁、T₂ 和 T₃ 分别增加 37.42%、22.20%和 2.55%。光伏幕墙下的阳台微环境对西瓜单果质量、果皮厚和果实纵横径均有显著影响,但对西瓜果形指数的影响无显著差异。

表 2 西瓜质量和果实外观形态

Table 2 Quality and fruit appearance of watermelons

样本 Samples	单果质量 Weight per fruit//kg	果实纵径 Longitudinal diameter of fruit//cm	果实横径 Traverse diameter of fruit//cm	果形指数 Fruit shape index	果皮厚 Thickness of fruit peel//mm
T ₁	1.31 c	9.81 c	9.43 c	1.04 a	6.37 b
T ₂	1.62 b	10.95 c	10.54 bc	1.03 a	7.92 ab
T ₃	2.35 b	13.62 ab	12.95 ab	1.05 a	9.92 ab
T ₄	2.61 a	15.57 a	14.64 ab	1.06 a	10.18 a

注: 同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$)

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences among different treatments at 0.05 level

3 结论

该研究分析了半透明双玻光伏组件幕墙下阳台的微环境,并在阳台上种植了西瓜样本。西瓜的生长受到温度、相对湿度、光照、CO₂ 浓度等因素的综合影响,研究发现晴天条件下温度为 23.7~32.2 ℃,相对湿度为 28.8%~49.2%,光照强度为 10 890~44 300 lx (09:00—11:30),CO₂ 浓度为 329.2~

348.5 mg/L,光伏幕墙的平均透光率为 46.4%;阴天条件下,温度为 23.2~26.1 ℃,相对湿度为 43.7%~52.1%,CO₂ 浓度为 330.9~345.5 mg/L;西瓜叶片的叶绿素含量随着光照强度增加而增长,11:30 时光照强度为 44 300 lx,西瓜叶片的叶绿素含量达到最大值 (42.5 mg/g)。叶绿素含量的增加提高了西瓜叶片光合作用能力,从而促进了西瓜生长。在西瓜结果期测量了西瓜的质量和外观形态,其中样本 T₄ 的生长数据最佳,单果质量最大值为 2.61 kg,纵横径为 15.57 和 14.64 cm,验证了西瓜在该阳台微环境中能够正常生长的结论。在阳台上方光伏幕墙发电的同时,该研究通过对光伏电池之间的透光性以及阳台温湿度等微环境的研究,实现了太阳能与阳台种植的有机结合,采用种植箱和基质栽培西瓜,解决了阳台设施西瓜种植的瓶颈。该研究结果可为后续的研究提供参考价值。

参考文献

[1] 朱旺.光伏幕墙在光伏建筑一体化中的应用与发展[J].建筑施工,2019,41(9):1728-1729.

[2] 马铭,廖华,李景天,等.云南师范大学 120 kW 光伏玻璃幕墙实践[J].云南师范大学学报(自然科学版),2015,35(2):27-31.

[3] HASSANIEN R H E, LI M, YIN F. The integration of semi-transparent photovoltaics on greenhouse roof for energy and plant production[J]. Renewable energy, 2018, 121: 377-388.

[4] 高正勇.阳台种植生菜技术[J].现代农业科技,2015(18):112,115.

[5] 穆大伟,张玉坤,孙莉,等.生菜在建筑外墙遮阳板、屋顶、阳台的环境适应性和生态效益研究[J].干旱区资源与环境,2019,33(9):116-124.

[6] 曹华,王亚慧,李新旭.水果黄瓜家庭阳台盆栽技术[J].农村百事通,2017(12):29-30.

[7] 龚攀,梁峰,陈曼,等.阳台黄瓜种植技术[J].长江蔬菜,2017(12):64-65.

[8] 张伟娟,张怀波,杨宝祝.负水头控制下不同浓度营养液对阳台番茄产量和品质的影响[J].蔬菜,2014(10):14-18.

[9] 王月英,黄广学.北京地区阳台盆栽番茄有机生态型无土种植技术[J].北京农业职业学院学报,2018,32(5):27-31.

[10] 郝天民,刘俊杰,李晶晶.阳台韭菜栽培技术[J].中国蔬菜,2012(9):54-55.

[11] 骆洪义,杜红,曲宝龙,等.城市农业技术系列之二 阳台菜园 韭菜 & 油菜种植指南[J].中国果菜,2014,34(1):76-79.

[12] 杨青云,尹守恒,李会松,等.日光温室精品西瓜优质高产高效栽培技术[J].中国瓜菜,2016,29(6):50-51.

[13] 王兆吉.西瓜果形相关性状遗传及 QTL 分析[D].哈尔滨:东北农业大学,2013.

[14] 李天来,许勇,张金霞.我国设施蔬菜、西甜瓜和食用菌产业发展的现状及趋势[J].中国蔬菜,2019(11):6-9.

[15] 马超,朱莉,曾剑波,等.北京地区设施西瓜环境因子调控手段及数据分析[J].北方园艺,2017(18):85-89.

[16] 唐伊恋,李明,马逊,等.草莓温室太阳能热泵系统阶梯式供暖特性[J].农业工程学报,2018,34(13):239-245.

[9] 姜玉英,刘杰,朱晓明.草地贪夜蛾侵入我国的发生动态和未来趋势分析[J].中国植保导刊,2019,39(2):33-35.

[10] 葛世帅,何莉梅,和伟,等.草地贪夜蛾的飞行能力测定[J].植物保护,2019,45(4):28-33.

[11] 刘杰,姜玉英,刘万才,等.草地贪夜蛾测报调查技术初探[J].中国植保导刊,2019,39(4):44-47.

[12] 王磊,陈科伟,钟国华,等.重大入侵害虫草地贪夜蛾发生危害、防控研究进展及防控策略探讨[J].环境昆虫学报,2019,41(3):479-487.

(上接第 141 页)

[6] 徐丽娜,胡本进,苏贤岩,等.入侵安徽省草地贪夜蛾的遗传分析[J].植物保护,2019,45(5):47-53.

[7] 孔德英,孙涛,滕少娜,等.草地贪夜蛾及其近似种的鉴定[J].植物检疫,2019,33(4):37-40.

[8] 徐丽娜,胡本进,苏卫华,等.安徽发现草地贪夜蛾为害早播小麦[J].植物保护,2019,45(6):87-89.