

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2019.02.001

遮荫对不同种源菠萝蜜幼苗雨季与旱季生长及生理生化特性的影响^①

魏丽萍^{1,2}, 黄菁¹, 周会平¹,
原慧芳¹, 陈帆¹, 田耀华¹

1. 云南省热带作物科学研究所, 云南 景洪 666100; 2. 云南农业大学 农学与生物技术学院, 昆明 650201

摘要: 为研究光照强度对不同种源菠萝蜜幼苗生理特性的影响, 以泰国菠萝蜜(B1)、马来西亚菠萝蜜(B2)、四季菠萝蜜(B3)幼苗为研究对象, 设置 4 种光照强度, 自然光(CK), 75%的自然光(T1), 50%的自然光(T2), 25%的自然光(T3)。结果表明: 菠萝蜜幼苗生理特性响应变化是不同种源和光照强度共同作用的结果: 1) 不同种源菠萝蜜的相对生长速率均随光照强度的减弱而减弱, 光强太弱虽然株高增加明显但是茎基过细, 四季菠萝蜜相对生长速率高于泰国和马来西亚菠萝蜜; 2) 整体来看, 不同光照强度和不同种源间生理生化值差异有统计学意义, 随着光强减弱菠萝蜜叶绿素(*Chl*)和丙二醛(*MDA*)质量分数增加, 可溶性糖(*SS*)、蔗糖(*SUC*)、可溶性蛋白质(*SP*)质量分数减少; 3) 采用主成分分析法筛选出 7 个与菠萝蜜幼苗遮荫密切相关的生理生化指标, 即 *SS*, *SP*, *SUC*, *MDA*, *Chla*, *Chlb* 和 *Chl* 质量分数。

关键词: 菠萝蜜; 遮荫; 生长动态; 生理生化特征

中图分类号: S667.8

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2019)02-0001-08

菠萝蜜(*Artocarpus heterophyllus* Lam.) 又称木菠萝、树菠萝, 为桑(Moraceae)木菠萝属(*Artocarpus*)典型的热带果树, 享有“热带水果皇后”、“齿留香”的美称。原产于印度南部, 中国引种栽培菠萝蜜至今已有一千多年的历史, 目前在海南、广东、广西、台湾、福建和云南西双版纳以及四川南部的热带、亚热带地区均有种植^[1]。光是影响植物生存和生长发育的环境因子之一, 是植物唯一的能量来源, 是影响光合作用的重要因子, 植物与光环境的关系一直是植物生理生态学研究的焦点^[2]。植物在长期进化过程中, 通过改变其形态结构、生长发育和生理生化对复杂的光环境产生光驯化或适应能力^[3]。云南西双版纳地区位于热带北缘, 旱季、雨季的季节性变化明显, 在山地海拔 900 m 以下的沟谷中分布有热带季节雨林, 西双版纳菠萝蜜亦有较大种植面积。热带地区树木生长环境光强的异质性, 研究季节温度变化对植物生长及叶片生理生化指标的影响, 光强是不可忽视的主要因子^[4]。目前有关不同种源菠萝蜜不同光照条件下的

① 收稿日期: 2018-04-25

基金项目: 云南省重大科技专项(2016ZA009); 云南省热带作物科技创新体系建设专项(RF2017); “云岭产业技术领军人才”培养计划([2014]1782号)。

作者简介: 魏丽萍(1983-), 女, 助理研究员, 硕士研究生, 主要从事热带作物栽培的研究。

通信作者: 田耀华, 研究员, 博士。

生长特性及生理生化变化规律研究较少。为此,本文采用人工遮光方法,模拟不同光照强度,研究不同光照条件下的 3 个种幼苗的生长特性及生理生化特性,揭示其在不同光照强度下的生态适应能力,了解各树种对不同光照强度的适应性,为菠萝蜜的人工栽培和资源保护提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验材料为来源于泰国、马来西亚、中国等 3 个国家的 3 种菠萝蜜的幼苗,即泰国菠萝蜜、马来西亚菠萝蜜、四季菠萝蜜幼苗。

1.2 实验设计

实验地点在云南省西双版纳州景洪市云南省热带作物科学研究所荫棚实验区(22°05'N, 100°80'E)中进行。实验点海拔约 553 m,属北热带西南季风气候,长夏无冬,一年中有明显的旱季(11 月至次年 4 月)和雨季(5 月至 10 月)之分。年平均气温为 18.6~21.9 °C 之间,年蒸发量 1 310.6 mm,≥10 °C 的年积温 8 100.4 °C,日温差大,年降雨量 1 161.8 mm,平均相对湿度 85%,年平时日照 1 800~2 300 h,太阳辐射总量 120~136 kcal/年。

实验于 2014 年 4 月选择大小相对一致的供试材料移栽到高 35 cm 和直径 30 cm 的盆内,每盆 1 株,盆中土壤为混合基质(砖红壤、有机肥、泥炭土比例为 60:1:2),实验设置 4 种光照处理,即 CK(对照):光强为自然光,其他 3 个进行遮光处理,其中 T1:光强为自然光的 75%,T2:光强为自然光的 50%,T3:光强为自然光的 25%,共 4 个水平。光照强度通过遮荫网孔径来划分,并用 ZDR-24 照度计(浙江大学电气设备厂)测定实时光照确定相对光强(relative irradiance, RI)。采用随机分组法,每个光处理下幼苗株数为 5 株,整个生长过程中统一进行水肥管理,随时清除杂草及防治病虫害。

2 测定项目

2.1 植株生长量

从 2015 年 1 月开始,每月均用数显游标卡尺测定植株基径,用卷尺测量植株株高,计算相对生长率(relative growth rate, RGR),公式为

$$RGR = [\ln(d_2^2 h_2) - \ln(d_1^2 h_1)] / (t_2 - t_1)$$

式中: d_1 和 d_2 分别为生长前期和后期幼苗的基径(cm); h_1 和 h_2 则为对应时间幼苗的株高(cm); t_1 和 t_2 分别为观测时间(月)。

2.2 生理生化指标测定

2015 年旱季(4 月上旬)和雨季(8 月上旬)2 个时期,上午 8:00 进行取样,同一处理分别选取 3 株植株生长稳定中部枝条上的倒数第 2~3 片功能叶,采后立即带回室内进行各项生理生化指标的测定。叶绿素(Chl)质量分数测定采用直接浸提法^[5];丙二醛(MDA)质量分数测定采用硫代巴比妥酸(TBA)比色法^[6];可溶性糖(SS)和蔗糖(SUC)质量分数的测定采用蒽酮比色法^[6];可溶性蛋白质(SP)质量分数的测定采用考马斯亮蓝染色法^[6]。

2.3 统计方法

所有统计分析用 Excell 和 SPSS 17.0 完成,所有图形用 Sigma Plot 9.0 绘制。

3 结果分析

3.1 遮荫对菠萝蜜幼苗相对生长速率的影响

如图 1a 所示,遮荫处理下品种间四季菠萝蜜(B3)的相对生长速率不论是旱季(2015 年 1—4 月)、

雨季(2015 年 5—8 月)还是全年(2015 年 1—12 月), 均大于泰国菠萝蜜(B1)及马来西亚菠萝蜜(B2), 其中雨季表现由大到小依次为 B3, B1, B2, 旱季依次为 B3, B2, B1, 全年依次为 B3, B1, B2, 雨季的生长速率大于旱季; 从图 1b 可以看出, 不同遮荫处理下所有菠萝蜜的相对生长速率均随遮荫强度的增加呈下降的趋势, 各处理相对生长速率均小于对照(CK), 即由大到小依次自然光(CK), T1(自然光 75%), T2(自然光 50%), T3(自然光 25%), 其中雨季的相对生长速率整体大于旱季. 从图 1c 可以看出, 不同品种在不同遮光处理下, 雨季以 T3B3 的相对生长速率最大, 与 CKB3 和 CKB1 的差异无统计学意义; 旱季以 T2B3 的最大, 与 CKB2 和 T1B3 的差异无统计学意义. 综合可以看出, 不论是旱季还是雨季光照强度不足的情况下均会降低菠萝蜜的相对生长速率, 在弱光情况下 B1 的相对生长速率强于 B3 和 B2, 说明 B1 的光适应能力更强.

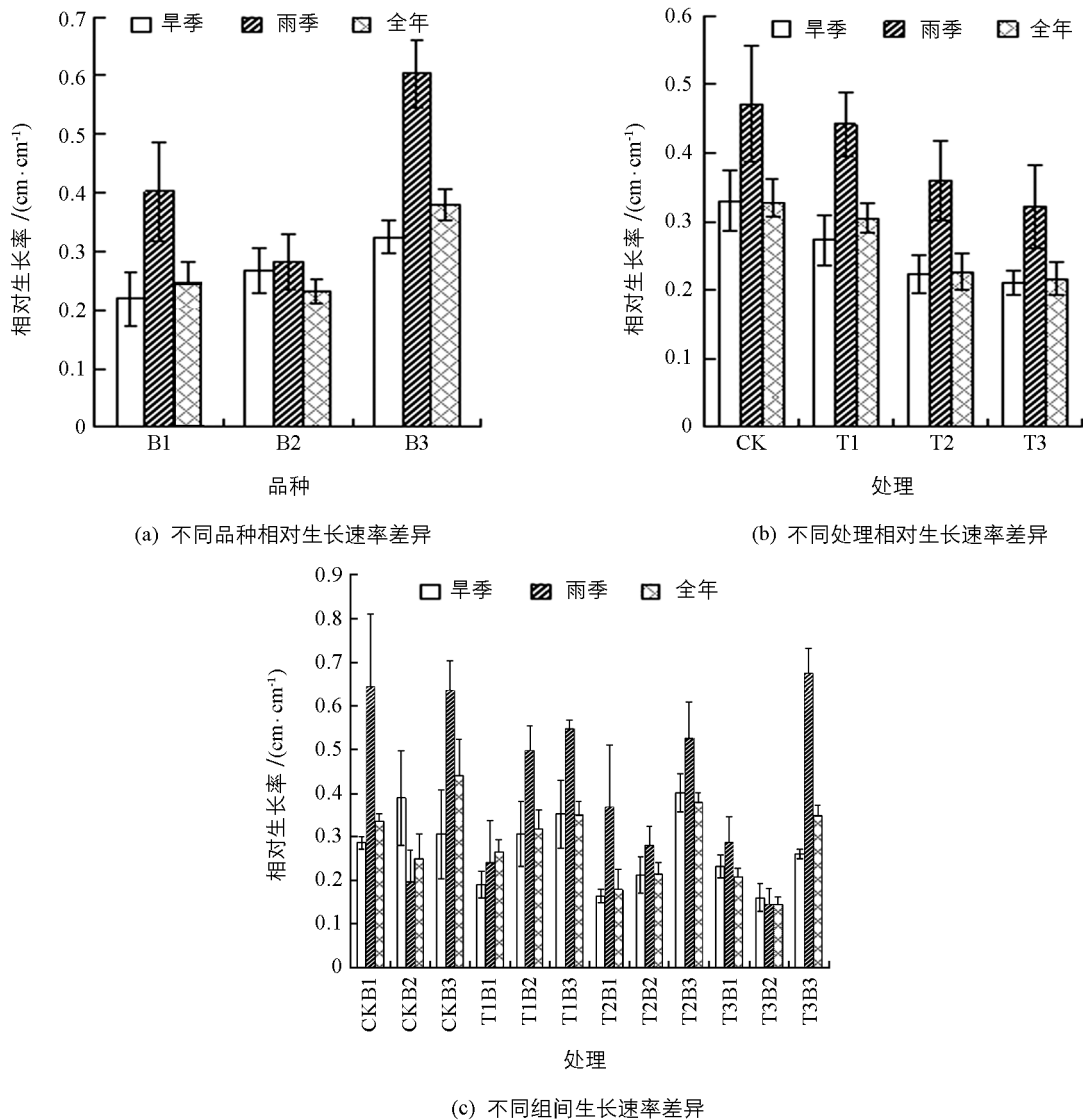


图 1 菠萝蜜幼苗相对生长速率

3.2 遮荫对菠萝蜜幼苗基茎及株高影响

从图 2 可以看出, 菠萝蜜幼苗旱季 1—4 月, 除了 T1 显著低于 CK, T2 和 T3 外, CK, T2 和 T3 差异无统计学意义, 随着雨季来临从 5 月到来年 1 月, 随着遮荫强度的增加基茎生长速度逐渐降低, 到 2015 年 10 月和 2016 年 1 月, 均表现由大到小依次为 CK, T1, T2, T3, 不同品种间旱季和雨季依次

为 B2, B1, B3. 雨季和旱季均以 T3 株高最高, 而 T1, T2 与 CK 差异无统计学意义. 品种间株高规律依次为 B2, B1, B3, 总的来说株高在旱季差异相对小于雨季. 为此可以看出, 旱季遮荫处理对菠萝蜜基茎生长影响小于雨季, 株高过高的基茎过细, 反映出弱光会造成不同品种一定程度的徒长、基茎过细的问题.

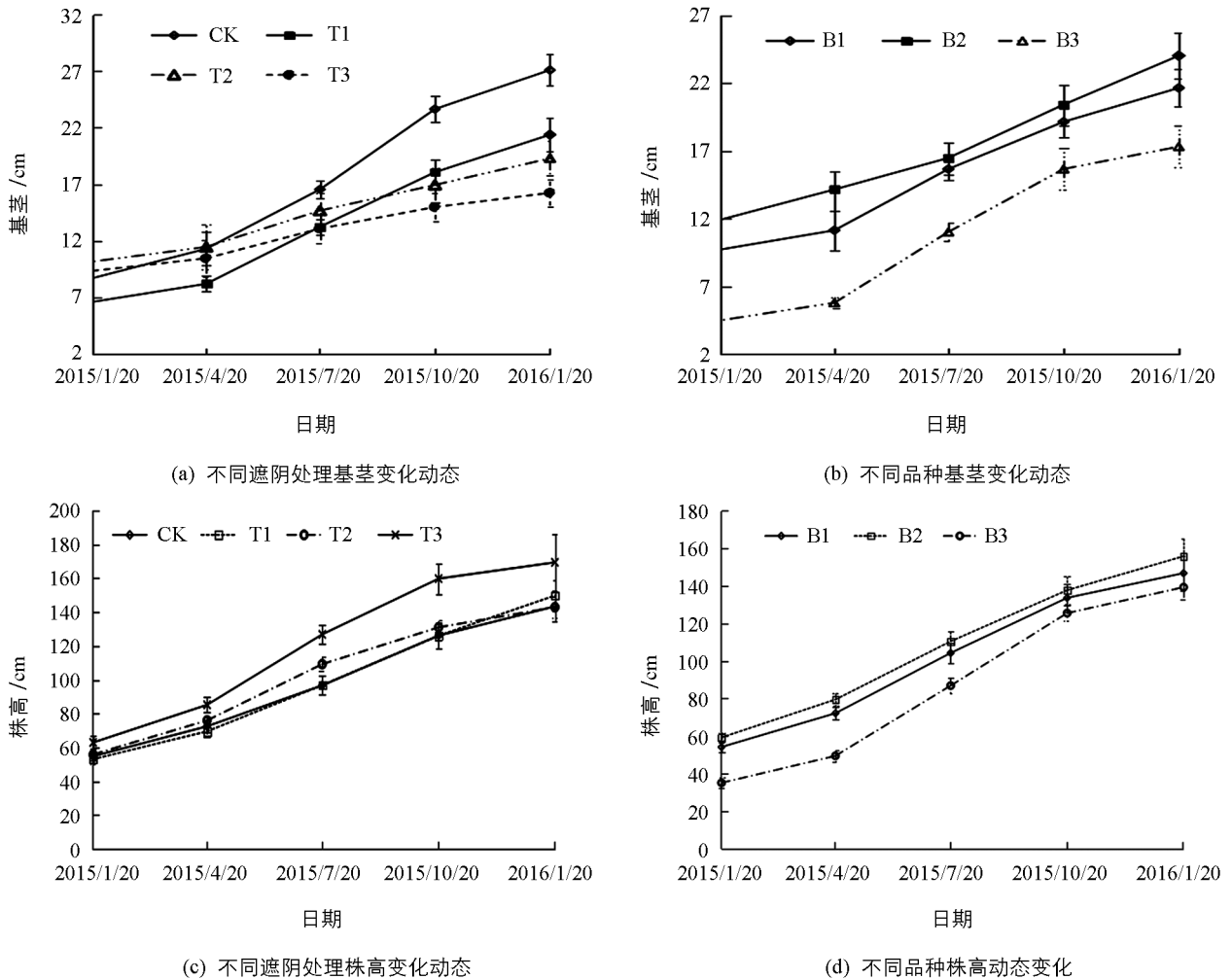


图 2 不同品种及遮阴处理基茎生长及株高变化动态

3.3 遮荫对菠萝蜜生理生化指标影响

表 1 显示, 遮荫、品种及品种与遮荫互作对菠萝蜜的旱季生理生化指标均产生显著或极显著影响(除品种间叶绿素和可溶性蛋白差异无统计学意义外), 整体来看遮光处理后随着光强的减弱叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素质量分数呈增加的趋势, 可溶性糖质量分数随着光强减弱呈先增后减的趋势, 由大到小依次为 T1, T2, CK, T3, 遮光处理后蔗糖质量分数(除 T1)与可溶性蛋白质量分数均低于对照, 尤其是蔗糖质量分数 T2 和 T3 均显著低于对照, 可溶性蛋白质量分数与 CK 相比差异均达到统计学意义, 丙二醛质量分数除 T1 与 CK 差异无统计学意义外, T2 和 T3 均显著低于 CK. 为此可以看出, 旱季给予一定程度的遮荫处理(自然光的 75%)能增加叶绿素、可溶性糖和蔗糖的质量分数, 但是如果光强太弱会很大程度上降低叶绿素、可溶性糖和蔗糖的质量分数. 品种间各生理生化指标表现规律也不一致, 其中叶绿素质量分数由大到小依次为 B1, B3, B2 但差异无统计学意义, 可溶性糖质量分数依次为 B3, B2, B1, 蔗糖质量分数依次为 B2, B1, B3, 丙二醛质量分数依次为 B2, B1, B3, 可溶性蛋白质量分数均为 0.064 mg/g.

表 1 旱季遮荫对菠萝蜜生理生化指标影响

| 处理 | 叶绿素 a/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | 叶绿素 b/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | 叶绿素/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | 可溶性糖/ % | 蔗糖/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | 可溶性蛋白/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | 丙二醛/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$) |
|------|---|---|---|------------|--|---|---|
| CK | 0.78C | 1.25C | 0.93D | 19.52C | 6.72B | 0.073A | 6.23C |
| T1 | 1.35A | 2.43A | 2.35B | 23.66A | 8.14A | 0.061BC | 6.79BC |
| T2 | 1.10B | 1.98B | 1.56C | 21.78B | 3.80D | 0.060C | 16.38A |
| T3 | 1.14B | 2.05B | 2.87A | 17.87C | 5.71C | 0.064B | 8.25B |
| B1 | 1.16A | 1.73B | 1.98A | 19.23B | 6.02A | 0.064A | 9.86B |
| B2 | 1.09AB | 1.96AB | 1.86A | 21.14A | 6.48A | 0.064A | 12.15A |
| B3 | 1.02B | 2.09A | 1.94A | 21.75A | 5.78B | 0.064A | 6.23C |
| CKB1 | 0.81EF | 1.01E | 0.98G | 18.51DE | 7.21BC | 0.076A | 6.99CD |
| CKB2 | 0.68F | 1.22DE | 0.85G | 16.40EF | 6.58C | 0.073AB | 6.19D |
| CKB3 | 0.84DEF | 1.51CD | 0.95G | 23.64B | 6.38C | 0.069BC | 5.51D |
| T1B1 | 1.33A | 2.39A | 2.28D | 18.67DE | 6.66BC | 0.06DE | 10.20B |
| T1B2 | 1.38A | 2.49A | 2.41CD | 21.94BC | 7.30BC | 0.060DE | 5.64D |
| T1B3 | 1.35A | 2.43A | 2.36D | 30.37A | 10.47A | 0.062DE | 4.51D |
| T2B1 | 1.00CD | 1.80BC | 1.38F | 20.70ABCD | 2.19E | 0.058E | 11.81B |
| T2B2 | 1.06BC | 1.91BC | 1.47F | 30.93A | 7.63BC | 0.061DE | 27.48A |
| T2B3 | 1.24A | 2.23AB | 1.82E | 13.69F | 1.57E | 0.06DE | 9.87B |
| T3B1 | 0.95CDE | 1.71C | 3.28A | 19.04CDE | 8.03B | 0.063DE | 10.43B |
| T3B2 | 1.23A | 2.22AB | 2.72B | 15.29F | 4.42D | 0.064CDE | 9.3BC |
| T3B3 | 1.23AB | 2.21AB | 2.63BC | 19.29CDE | 4.71D | 0.065CD | 5.02D |
| T | ** | * | * | * | * | ** | * |
| B | * | * | NS | * | * | NS | * |
| T*B | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |

注: 字母代表多重比较差异显著性分析, $p < 0.05$; * 表示 $p < 0.05$, 差异有统计学意义; ** 表示 $p < 0.01$, 差异有统计学意义; NS 表示差异无统计学意义。

表 2 显示, 遮荫、品种及品种与遮荫互作对菠萝蜜的雨季生理生化指标均产生显著或极显著影响。随着遮光强度增加叶绿素 a 质量分数与 CK 相比呈先增加后下降的趋势, 可溶性糖质量分数均显著低于 CK, 可溶性蛋白均高于 CK, 蔗糖质量分数整体较 CK 有所下降, 丙二醛较 CK 均有所降低; 品种间叶绿素 b、叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白、丙二醛均以 B2 最大, 叶绿素 a 和蔗糖质量分数以 B1 最大。

3.4 不同处理对菠萝蜜相关生理生化指标主成分分析

表 3 进行了 3 种不同来源的菠萝蜜雨季 7 个单项生理生化指标主成分分析。其中前 3 个主成分, 贡献率分别为 43.167%, 23.414% 和 17.970%, 累计贡献率达到 84.551%, 根据各综合指标的标准化特征向量值及各单项指标的标准化值, 可得到 3 个主成分与原 7 项指标的线性组合方程, 分别为

$$Y(1) = 0.541X_1 + 0.534X_2 + 0.435X_3 - 0.469X_4 + 0.084X_5 - 0.013X_6 + 0.071X_7$$

$$Y(2) = -0.036X_1 - 0.035X_2 - 0.095X_3 - 0.003X_4 + 0.716X_5 + 0.590X_6 + 0.357X_7$$

$$Y(3) = 0.046X_1 + 0.127X_2 + 0.307X_3 + 0.358X_4 - 0.025X_5 + 0.517X_6 - 0.701X_7$$

表 2 雨季遮荫对菠萝蜜生理生化指标影响

| 处理 | 叶绿素 a/ (mg · g ⁻¹) | 叶绿素 b/ (mg · g ⁻¹) | 叶绿素/ (mg · g ⁻¹) | 可溶性糖/ % | 蔗糖/ (mg · g ⁻¹) | 可溶性蛋白/ (mg · g ⁻¹) | 丙二醛/ (μmol · g ⁻¹) |
|------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| CK | 1.22B | 2.02B | 1.79D | 26.55A | 7.26B | 0.064B | 21.96A |
| T1 | 1.11C | 2.00B | 1.94C | 15.05B | 5.82C | 0.090A | 13.67C |
| T2 | 1.24B | 2.23AB | 2.11B | 7.85C | 5.31C | 0.087A | 15.99C |
| T3 | 1.33A | 2.39A | 2.89A | 14.04B | 7.96A | 0.065B | 19.24B |
| B1 | 1.28A | 2.18AB | 2.19AB | 15.76B | 6.94A | 0.074B | 17.16B |
| B2 | 1.24B | 2.22A | 2.28A | 16.93A | 6.89A | 0.087A | 21.24A |
| B3 | 1.15C | 2.07AB | 2.09B | 14.93B | 5.94B | 0.069C | 14.76C |
| CKB1 | 1.30AB | 1.83BC | 2.05D | 31.15A | 9.89A | 0.065CD | 26.68AB |
| CKB2 | 1.12E | 2.02AB | 1.55F | 25.25B | 6.29DE | 0.070C | 20.65CD |
| CKB3 | 1.23CD | 2.21AB | 1.77E | 23.26C | 5.60EF | 0.058CD | 18.55DE |
| T1B1 | 1.24BCD | 2.24AB | 1.88DE | 15.44E | 5.76EF | 0.081B | 13.39F |
| T1B2 | 1.28ABC | 2.31A | 2.70BC | 18.24D | 7.39C | 0.128A | 12.53F |
| T1B3 | 0.81F | 1.45C | 1.23G | 11.46F | 4.31G | 0.062CD | 15.07EF |
| T2B1 | 1.25BCD | 2.25AB | 1.90DE | 8.85G | 7.29CD | 0.086B | 12.42F |
| T2B2 | 1.22D | 2.19AB | 1.87DE | 5.77H | 3.16H | 0.084B | 23.10BC |
| T2B3 | 1.25BCD | 2.25AB | 2.57C | 8.91G | 5.49EF | 0.089B | 12.46F |
| T3B1 | 1.34A | 2.40A | 2.89AB | 7.60G | 4.82FG | 0.065CD | 16.12EF |
| T3B2 | 1.33A | 2.38A | 2.99A | 18.46D | 10.70A | 0.065CD | 28.67A |
| T3B3 | 1.32A | 2.38A | 2.79AB | 16.07E | 8.36B | 0.065CD | 12.94F |
| T | ** | * | * | * | * | ** | * |
| B | * | * | * | * | * | * | * |
| T*B | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |

注: 字母代表多重比较差异显著性分析, $p < 0.05$; * 表示 $p < 0.05$, 差异有统计学意义; ** 表示 $p < 0.01$, 差异有统计学意义; NS 表示差异无统计学意义。

由方程及表 3 可知, 第 1 主成分贡献特征向量较大的有叶绿素 a 和叶绿素 b, 其特征值为 3.022, 贡献率为 43.167%; 第 2 主成分特征向量较大的为可溶性糖和蔗糖, 特征值为 1.639, 累计贡献率为 23.414%; 第 3 主成分特征向量较大的为可溶性蛋白, 其特征值为 1.258, 其贡献率为 17.970%。从以上的主成分分析结果可见, 不同种源菠萝蜜的耐性强弱并不是由某一个指标决定的, 而是由 2~3 个指标综合决定的, 而这 2~3 个综合指标的贡献率不同, 所起的作用也不相同。

表 3 不同遮荫处理下 3 种菠萝蜜雨季生理生化指标主成分分析

| 叶绿素 b/ (mg · g ⁻¹) | 叶绿素 a/ (mg · g ⁻¹) | 叶绿素/ (mg · g ⁻¹) | 可溶性蛋白/ (mg · g ⁻¹) | 可溶性糖/ % | 蔗糖/ (mg · g ⁻¹) | 丙二醛/ (μmol · g ⁻¹) | 特征值 | 贡献率/ % | 累计贡 献率/% |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------|-----------|-------------|
| 0.541 | 0.534 | 0.435 | -0.469 | 0.084 | -0.013 | 0.071 | 3.022 | 43.167 | 42.505 |
| -0.036 | -0.035 | -0.095 | -0.003 | 0.716 | 0.59 | 0.357 | 1.639 | 23.414 | 64.856 |
| 0.046 | 0.127 | 0.307 | 0.358 | -0.025 | 0.517 | -0.701 | 1.258 | 17.970 | 84.551 |

表 4 得出 3 种不同来源的菠萝蜜旱季 7 个单项生理生化指标主成分分析。其中前 2 个主成分, 贡献率分别为 37.584% 和 29.385%, 累计贡献率达到 37.584% 和 67.418%, 根据各综合指标的标准化特征向量值及各单项指标的标准化值, 可得到 2 个主成分与原 7 项指标的线性组合方程, 分别为

$$Y(1) = 0.496X_1 + 0.558X_2 + 0.545X_3 + 0.215X_4 - 0.014X_5 - 0.305X_6 - 0.014X_7$$

$$Y(2) = -0.143X_1 + 0.088X_2 + 0.005X_3 - 0.355X_4 + 0.572X_5 + 0.488X_6 + 0.536X_7$$

由方程及表 4 可知, 第 1 主成分贡献特征向量较大的有叶绿素 a 和叶绿素, 其特征值为 2.631, 贡献率为 37.584%, 第 2 主成分特征向量较大的为可溶性糖和丙二醛, 特征值为 2.088, 贡献率为 29.385%, 累

计贡献率为 67.418%。

总的来看, 所有指标对光强的响应各有侧重, 从而使得它们所提供的信息发生重叠。同时各单项指标在菠萝蜜耐性中所起的作用也不尽相同, 因而, 用任何单一项指标评价不同菠萝蜜耐光性强弱都有片面性, 所以如直接利用这些指标对菠萝蜜耐性强弱进行评价, 则不能准确评价不同品种菠萝蜜的适应能力的强弱。

表 4 不同遮荫处理下 3 种菠萝蜜旱季生理生化指标主成分分析

| 叶绿素 b/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | 叶绿素 a/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | 叶绿素/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | 可溶性蛋白/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | 可溶性糖/ % | 蔗糖/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | 丙二醛/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$) | 特征值 | 贡献率/ % | 累计贡 献率/% |
|---|---|---|---|------------|--|---|-------|-----------|-------------|
| 0.496 | 0.558 | 0.545 | 0.215 | -0.014 | 0.305 | -0.014 | 2.631 | 37.584 | 37.584 |
| -0.143 | 0.088 | 0.005 | -0.355 | 0.572 | 0.488 | 0.536 | 2.088 | 29.835 | 67.418 |

4 结论与讨论

遮荫可使植物生长和生理生化发生一系列变化^[7]。已有许多关于遮荫对植物生长发育影响的研究^[8], 并且发现不同光照强度对植物的株高影响显著^[9]。本研究不同遮荫处理下所有菠萝蜜的相对生长速率均随遮荫强度的增加呈下降的趋势, 各处理相对生长速率均小于对照(CK), 由大到小依次为自然光(CK), T1(75%的自然光), T2(50%的自然光), T3(25%的自然光), 其中雨季的相对生长速率整体大于旱季, 旱季遮荫处理对菠萝蜜基茎生长影响小于雨季, 随着遮光强度增加, 株高变高, 茎基变细。

叶绿素质量分数是反映植物光合作用能力的重要指标, 对其他作物研究表明弱光处理有利于叶绿素的合成^[10-11], 但是弱光对菠萝蜜叶绿素质量分数的影响目前未见研究, 本研究对菠萝蜜弱光胁迫不论是旱季或雨季都有利于促进叶绿素的合成, 增加了叶绿素质量分数, 这与前人的研究相一致; 丙二醛是膜脂过氧化的主要产物^[12], 其质量分数的多少反映了植物膜脂过氧化和受胁迫伤害的程度^[13], 有研究表明, 丙二醛质量分数会随着胁迫程度的加剧而增加^[14-15], 本研究中旱季随着遮荫强度增加光照强度减弱, 丙二醛质量分数增加说明旱季弱光会加快菠萝蜜膜脂过氧化程度, 而雨季弱光处理能减少丙二醛质量分数, 降低其受胁迫的伤害程度; 可溶性糖和可溶性蛋白都是植物体内重要的渗透调节物质, 其质量分数可反映植物对自身生理代谢过程调节的能力。可溶性糖作为重要的渗透调节物质, 在植物遭受胁迫时会通过增加或降低其质量分数来调节植物细胞的渗透压^[16], 本研究中旱季轻度遮光处理(75%的自然光)能一定程度增加可溶性糖质量分数, 当光照为 25%的自然光时可溶性糖下降趋势明显, 在雨季则基本呈下降的趋势。遮荫、品种、品种与遮荫互作对菠萝蜜的雨季生理生化指标均产生显著或极显著的影响。

总之, 从主成分分析得出: 雨季第 1 主成分贡献特征向量较大的有叶绿素 a, 叶绿素 b, 其特征值为 3.022, 贡献率为 43.167%; 第 2 主成分特征向量较大的为可溶性糖、蔗糖, 特征值为 1.639, 累计贡献率为 23.414%; 第 3 主成分特征向量较大的为可溶性蛋白, 其特征值为 1.258, 其贡献率为 17.970%。旱季第 1 主成分贡献特征向量较大的有叶绿素 a, 叶绿素, 其特征值为 2.631, 贡献率为 37.584%; 第 2 主成分特征向量较大的为可溶性糖、丙二醛, 特征值为 2.088, 贡献率为 29.385%, 累计贡献率为 67.418%。因此, 7 个生理生化指标即可溶性糖、可溶性蛋白质、蔗糖、丙二醛、叶绿素、叶绿素和叶绿素为菠萝蜜幼苗耐性评价的主要指标。

参考文献:

- [1] 吴刚, 陈海平, 桑利伟, 等. 中国菠萝蜜产业发展现状及对策 [J]. 热带农业科学, 2013, 33(2): 91-97.
- [2] 张敏, 何平, 喻泽莉, 等. 模拟酸雨胁迫及施肥与遮荫对半夏主要药用成分质量分数的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2011, 33(4): 5-11.
- [3] 马银山, 杜国祯, 张世挺. 光照强度和肥力变化对垂穗披碱草生长的影响 [J]. 生态学报, 2014, 34(14): 3908-3916.
- [4] 何洁, 刘鸿先, 王以柔, 等. 低温与植物的光合作用 [J]. 植物生理学通讯, 1986, 36(2): 1-6.
- [5] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导 [M]. 2 版. 广州: 华南理工大学出版社, 2006.

- [6] 高俊凤. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [7] 陈安群, 苗原, 刘梦舟, 等. 建筑物遮挡对鸢尾生长性状的影响 [J]. 生态环境学报, 2016, 25(4): 591–596.
- [8] 陈丽飞, 王克凤, 金鹏, 等. 不同遮荫处理对大花萱草形态及生物量的影响 [J]. 安徽农业科学, 2011, 39(29): 17808–17810.
- [9] 贡健全, 温玉龙, 朱冠宇, 等. 遮荫环境对 6 种景天属植物生长的影响研究 [J]. 安徽农业科学, 2014, 42(18): 5818–5820.
- [10] 甄伟, 张福墀. 弱光对黄瓜功能叶片光合特性及超微结构的影响 [J]. 园艺学报, 2000, 27(4): 290–292.
- [11] 王学文, 王玉珏, 付秋实, 等. 弱光逆境对番茄幼苗形态、生理特征及叶片超微结构的影响 [J]. 华北农学报, 2009, 24(5): 144–149.
- [12] 王智威, 牟思维, 闫丽丽, 等. 水分胁迫对春播玉米苗期生长及其生理生化特性的影响 [J]. 西北植物学报, 2013, 33(2): 343–351.
- [13] 王娟. 淹水对牡丹生理特性的影响 [J]. 生态学杂志, 2015, 34(12): 3341–3347.
- [14] YUAN X K, YANG Z Q, LI Y X, et al. Effects of Different Levels of Water Stress on Leaf Photosynthetic Characteristics and Antioxidant Enzyme Activities of Greenhouse Tomato [J]. Photosynthetica, 2016, 54(1): 28–39.
- [15] 于金平, 俞珊, 梁有旺, 等. NaCl 胁迫对美国白蜡幼苗部分生理指标的影响 [J]. 植物资源与环境学报, 2014, 23(1): 110–112.
- [16] 薛伟, 李向义, 朱军涛, 等. 遮荫对疏叶骆驼刺叶形态和光合参数的影响 [J]. 植物生态学报, 2011, 35(1): 82–90.

Effects of Shading on the Growth and Physiological and Biochemical Characteristics of *Artocarpus heterophyllus* with Different Origins in Dry and Rainy Seasons

WEI Li-ping^{1,2}, HUANG Jing¹, ZHOU Hui-ping¹,
YUAN Hui-fang¹, CHEN Fan¹, TIAN Yao-hua¹

1. Yunnan Institute of Tropical Crops, Jinghong Yunnan 666100, China;

2. College of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agriculture University, Kunming 650201, China

Abstract: Seedlings of 3 genotypes of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) with different origins, i. e. Thailand jackfruit, Malaysian jackfruit and four-season jackfruit, were grown under the conditions of nature light (CK), 75% nature light (T1), 50% nature light (T2), 25% nature light (T3) to study the effects of light intensity on their physiological characteristics. The results showed that the response to physiological change were the combined effects of genotype and light intensity: The relative growth speed of all the jackfruit genotypes decreased with decreasing light intensity. Weak light resulted in greater plant height, but very thin stem base. The relative growth speed of four-season jackfruit was higher than that of Thailand jackfruit and Malaysian jackfruit. There were significant differences in physiological and biochemical characteristics among different genotypes and light intensity treatments. With decreasing light intensity, *Chl* and *MDA* contents increased, and *SS*, *SUC* and *SP* contents decreased. Based on the results of principal component analysis, *SS*, *SP*, *SUC*, *MDA*, *Chla*, *Chlb* and *Chl* were identified as physiological and biochemical indicators closely associated with jackfruit seedling shading.

Key words: *Artocarpus heterophyllus*; shading; growth dynamics; physiological and biochemical character