



李娟, 林位夫, 周立军. 不同光照度生境对海芋块茎形态、淀粉含量及叶绿素含量的影响[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37(3): 62-66.

不同光照度生境对海芋块茎形态、淀粉含量及叶绿素含量的影响

李娟, 林位夫, 周立军

(中国热带农业科学院 橡胶研究所/农业部 儋州热带作物科学观测试验站, 海南 儋州 571737)

摘要:【目的】了解海芋 *Alocasia macrorrhiza* 对不同光照度生境的响应, 明确在海芋试验中叶绿素仪测定叶绿素的精确度, 以为大面积的成龄胶园林荫下土地资源利用及叶绿素仪在海芋生理试验中正确应用提供理论依据和技术支持。【方法】采用 SPAD-502 叶绿素仪和乙醇-丙酮浸提法对不同光照度下海芋不同叶片的 SPAD 值、叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量进行测定。【结果】与自然光照下的海芋相比, 林荫下海芋的块茎长度增加了 12.11%, 茎围和淀粉含量则分别降低了 15.08% 和 12.96%。自然光照下海芋的 SPAD 值、叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量均比在林荫下生长的海芋低, 但叶绿素 a 与叶绿素 b 含量的比值要高。自然光照下海芋叶片 SPAD 值呈现从倒 1 叶至倒 5 叶逐渐增加的趋势(倒 3 叶除外)。林荫下生长的海芋叶片 SPAD 值从倒 1 叶至倒 2 叶是增加的, 从倒 3 叶至倒 5 叶逐渐降低, 最大值在倒 2 叶。光照强度对不同叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量的影响趋势与 SPAD 值的影响趋势一致, 只是影响幅度不同。【结论】光照有利于海芋淀粉的合成。光照不足的情况下, 海芋会通过增加叶片(特别是上层叶片)的 SPAD 值、叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量来捕获光能。在自然光照下, 利用海芋倒 4 叶的 SPAD 值更能准确地预测其叶绿素的绝对含量, 而在林荫下生长的海芋倒 5 叶的 SPAD 值更能准确地预测其叶绿素的绝对含量。

关键词: 海芋; 光照强度; 形态; SPAD 值; 叶绿素含量

中图分类号: S344.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2016)03-0062-05

Effect of light intensity on tuber morphology, starch content and leaf chlorophyll content of calla lily

LI Juan, LIN Weifu, ZHOU Lijun

(Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences/Danzhou Investigation and Experiment Station of Tropical Crops, Ministry of Agriculture, P. R. China, Danzhou 571737, China)

Abstract:【Objective】In order to understand the response of calla lily, *Alocasia macrorrhiza* L., to different light intensities, verify the accuracy of SPAD chlorophyll meter in chlorophyll measurements of calla lily, and provide a theoretical basis and technical supports for utilizing large land resources under mature rubber plantation and using chlorophyll meter correctly in physiological experiments of calla lily.【Method】SPAD value, chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll contents of different calla lily leaves under different light intensities were determined using SPAD-502 chlorophyll meter and alcohol-acetone extraction methods.【Result】Compared with calla lily grown under natural light, tuber starch content and girth of calla lily under tree-shade decreased by 15.08% and 12.96% respectively, while tuber

收稿日期: 2015-08-07 优先出版时间: 2016-04-15

优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20160415.1555.022.html>

作者简介: 李娟(1978—), 女, 副研究员, 博士, E-mail: njtrs2003@163.com

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(31301856); 中国热带农业科学院橡胶研究所基本科研业务费专项(1630022011009); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-34)

length increased by 12.11%. SPAD value, chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll contents of calla lily under natural light were lower than those of calla lily under tree-shade, while chlorophyll a/b ratio was higher. SPAD value of calla lily under natural light increased gradually from the first-top-leaf to the fifth-top-leaf (except the third-top-leaf). SPAD value of calla lily under tree-shade increased gradually from the first-top-leaf to the second-top-leaf reaching the maximum, and then decreased gradually from the third-top-leaf to the fifth-top-leaf. Light intensity influenced chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll contents of different leaves in the same way as it did for SPAD value, but in different degree. 【Conclusion】Light is conducive to starch synthesis in calla lily tubers. Calla lily can capture more light energy through increasing SPAD value, chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll contents of leaves, especially the upper leaves, under limited light conditions. The SPAD value of the fourth-top-leaf is the best estimation for the chlorophyll contents of calla lily under natural light, while the SPAD value of the fifth-top-leaf is the best estimation for the chlorophyll contents under tree-shade.

Key words: calla lily; light intensity; morphology; SPAD value; chlorophyll content

海芋 *Alocasia macrorrhiza*, 又名野芋、痕芋头、狼毒(广东)、山芋头、滴水观音等, 天南星科多年生常绿大型草本植物, 在我国台湾、福建、江西、湖南、广东、广西、贵州、云南、海南等热带和亚热带地区均有分布, 常成片生长于热带雨林林缘或河谷野芭蕉林下、水边或村旁荫湿处^[1]。海芋繁殖能力强, 生长粗放, 块茎淀粉、糖类含量高, 全株入药, 亦可作为观赏用途。海芋耐阴性强, 适合在成龄胶园较为阴蔽的环境下间作种植, 发展以生产淀粉、饲料、药物等产品的橡胶树/海芋间作模式, 将为大规模开发海南省数百万亩成龄胶园林荫土地资源, 开发间作产业, 增加农民收入提供技术支持。

光照度是植物生长与发育的重要环境因子, 不同的光照度对植物的生长发育有很大的影响^[2]。相关研究表明, 在自然界中, 不同生境下的植物在生理、形态上产生与环境相适应的可塑性差异^[3]。植物在高光条件下的光能利用率较低, 容易受到强光照的伤害^[4]。若耐荫植物栽植于较强的光照下, 会引起光抑制, 影响其光合作用和生长, 甚至导致死亡^[5]。光照度也会对作物的有效成分含量产生影响。比如透光率为32%、16%、8%、4%、2% 荫棚下的三七 *Radix notoginseng*, 其地下部分总皂苷含量随光照度的增加呈现先升高再降低的趋势, 当透光率为16%时, 其地下部分总皂苷含量达到最大值(4.751%); 单株总皂苷产量的变化趋势与总皂苷百分含量的变化趋势相同^[6]。遮荫20%~80%的处理均降低了水稻直链淀粉的含量^[7]。遮光使甜瓜 *Cucumis melo* 果实糖分含量下降, 且蔗糖开始大量积累的时间推迟, 但果实的糖分积累对遮荫程度的响应在不同品种间有差异^[8]。

不同光照度生境下, 特别是林荫下的海芋生长发育特性及一些生理生化指标的变化目前尚不清楚。为了更好地利用大面积的成龄胶园林荫下土地资源和大规模开发利用海芋资源, 有必要探讨林荫下与自然光照下海芋的生长发育和一些生理生化指标的变化特征。以期利用大面积的成龄胶园林荫下土地资源和大规模开发利用海芋资源提供理论依据和技术支持。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

试验在中国热带农业科学院橡胶研究所三队实验区进行, 选取在自然光照下和林荫下生长的2年生的海芋作为2个处理进行对比测定。2014年8月25日, 晴天, 2个处理同时各选取5个点测定光照度, 林荫下平均为3034 lx, 自然光照下为109740 lx。

1.2 采样与样品测定

分别在自然光照下和林荫下采取质量相当的2年生海芋10株, 用于测量块茎的鲜质量、干质量、长度、茎围及淀粉含量。另各采取3株海芋用于测定每片叶片的SPAD (Soil and plant analyzer development) 值和叶绿素含量。

1.2.1 块茎长度、茎围的测定 块茎长度、茎围用软尺测量, 每处理测定10株。

1.2.2 鲜质量、干质量测定 将采来的海芋块茎用自来水冲洗根部土壤, 再用蒸馏水冲洗3次, 吸水纸吸干多余水分, 称鲜质量, 然后将块茎分段放入纸袋, 在105℃条件下杀青30 min, 在75℃条件下烘至恒质量后, 称干质量。

1.2.3 淀粉含量测定 采用蒽酮法测定淀粉含量^[9]。

1.2.4 叶片 SPAD 值测定 分别用 SPAD-502 叶绿素仪在选定叶片的叶基、叶中、叶尖共读取 5 个值,求其平均值作为该叶片的 SPAD 值。采下相应叶片并在 SPAD 测定部位做好标记,冷藏带回实验室用于叶绿素含量测定。

1.2.5 叶片叶绿素含量的测定 叶绿素含量测定采用丙酮乙醇溶液萃取法^[9]。

1.3 数据分析

使用 SPSS 17.0 软件对块茎鲜质量、干质量、长度、茎围及淀粉含量在 2 个处理间的差异,作独立样本 *t* 检验分析。对 SPAD 值、叶绿素含量在每个叶片间的差异,作单因素的方差分析与 Duncan's 复极差多重比较,同时对叶片的 SPAD 值与叶绿素含量进行双变量相关分析。

表 1 不同光照度生境对海芋块茎的生物量、形态和淀粉含量的影响¹⁾

Tab.1 The effect of light intensity on biomass, morphology and starch content of calla lily tuber

| 生境 | $m_{\text{鲜}}/\text{kg}$ | $m_{\text{干}}/\text{kg}$ | 块茎长度/cm | 块茎茎围/cm | $w(\text{淀粉})/\%$ |
|-------|--------------------------|--------------------------|----------------|-----------------|-------------------|
| 林荫下 | 4.26 ± 0.06 | 0.75 ± 0.02 | 55.83 ± 0.69** | 26.74 ± 0.32*** | 20.88 ± 0.71* |
| 自然光照下 | 4.32 ± 0.05 | 0.72 ± 0.03 | 49.80 ± 0.92 | 31.49 ± 0.26 | 23.99 ± 0.55 |

1) *、**、*** 分别表示与自然光照下差异达 0.05、0.01、0.001 显著水平(*t* 检验)。

2.2 不同光照度生境对海芋叶片 SPAD 值和叶绿素含量的影响

由表 2 可知,自然光照下生长的海芋的叶片 SPAD 值无显著差异(除倒 1 叶显著低于其他叶片以外),SPAD 值的变化趋势从倒 1 叶至倒 5 叶逐渐增加(除倒 3 叶外)。林荫下生长的海芋叶片 SPAD 值从倒 1 叶至倒 2 叶是增加的,而从倒 3 叶至倒 5 叶逐渐降低,最大值在倒 2 叶。除倒 5 叶外,自然光照下生长的

2 结果与分析

2.1 不同光照度生境对海芋块茎的生长发育和淀粉含量的影响

由表 1 可知,在鲜质量和干质量相当的情况下,林荫下海芋块茎长度显著增加,块茎茎围显著降低,外形特征表现为“细长”型,自然光照下的海芋块茎长度显著低于林荫下块茎,块茎茎围显著高于林荫下块茎,外形特征表现为“短粗”型。林荫下海芋淀粉含量也显著低于自然光照下。与自然光照下的海芋相比,林荫下海芋的块茎长度增加了 12.11%,茎块茎围和淀粉含量则分别降低了 15.08% 和 12.96%。说明光照能促进海芋淀粉的合成和块茎茎围的增加,但降低了块茎长度,光照促进海芋向“短粗”型方向发展。

海芋均比在林荫下生长的海芋相对应的叶片 SPAD 值低,特别是倒 1 叶和倒 2 叶差异达到显著水平。与生长在自然光照的海芋相比,林荫下海芋的倒 1 叶、倒 2 叶、倒 3 叶、倒 4 叶、倒 5 叶的 SPAD 值分别增加了 42.34%、15.58%、11.90%、6.60%、-4.39%。

自然光照下生长的海芋的叶片叶绿素 a 含量无显著差异(除倒 1 叶显著低于其他叶片以外),叶绿素 a 含量从倒 1 叶至倒 5 叶逐渐增加(除倒 3 叶外),最大

表 2 不同光照度生境对不同叶位叶片 SPAD 值和叶绿素含量的影响¹⁾

Tab.2 The effect of light intensity on SPAD value and chlorophyll content of different leaves

| 生境 | 叶位 | SPAD 值 | $w/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$ | | | $w(\text{叶绿素 a})/$ $w(\text{叶绿素 b})$ |
|-------|-------|----------------|-------------------------------------|----------------|---------------|---|
| | | | 叶绿素 a | 叶绿素 b | 总叶绿素 | |
| 自然光照下 | 倒 1 叶 | 37.13 ± 3.64d | 1.44 ± 0.11e | 0.47 ± 0.04g | 1.91 ± 0.14e | 3.09 ± 0.05ab |
| | 倒 2 叶 | 55.89 ± 1.34bc | 2.52 ± 0.08bcd | 0.82 ± 0.03def | 3.34 ± 0.10cd | 3.06 ± 0.03b |
| | 倒 3 叶 | 55.28 ± 2.22bc | 2.14 ± 0.19d | 0.67 ± 0.06f | 2.82 ± 0.24d | 3.19 ± 0.03a |
| | 倒 4 叶 | 57.59 ± 2.73bc | 2.24 ± 0.21d | 0.74 ± 0.07f | 2.98 ± 0.28d | 3.04 ± 0.03b |
| | 倒 5 叶 | 60.31 ± 1.27ab | 2.34 ± 0.06cd | 0.77 ± 0.03ef | 3.11 ± 0.08d | 3.04 ± 0.05b |
| 林荫下 | 倒 1 叶 | 52.85 ± 1.39c | 2.40 ± 0.12cd | 0.91 ± 0.06cde | 3.31 ± 0.18cd | 2.67 ± 0.05c |
| | 倒 2 叶 | 64.60 ± 1.45a | 3.06 ± 0.07a | 1.31 ± 0.06a | 4.37 ± 0.14a | 2.37 ± 0.07e |
| | 倒 3 叶 | 61.86 ± 1.09ab | 2.86 ± 0.04ab | 1.14 ± 0.03b | 4.00 ± 0.06ab | 2.52 ± 0.04d |
| | 倒 4 叶 | 61.39 ± 1.11ab | 2.64 ± 0.07bc | 1.05 ± 0.05bc | 3.70 ± 0.12bc | 2.52 ± 0.05d |
| | 倒 5 叶 | 57.66 ± 2.48bc | 2.38 ± 0.14cd | 0.94 ± 0.06cd | 3.32 ± 0.19cd | 2.52 ± 0.05d |

1) 表中数据为平均值 ± 标准误($n=3$); 同列数据后,凡是具有一个相同小写英文字母者,表示差异不显著(Duncan's 法, $P > 0.05$)。

值在倒2叶。林荫下生长的海芋叶绿素 a 含量从倒1叶至倒2叶是增加的,从倒3叶至倒5叶逐渐降低,最小值在倒1叶,最大值在倒2叶。自然光照下生长的海芋除倒5叶的叶绿素 a 含量略微低于林荫下的倒5叶外,其他叶片的叶绿素 a 含量均显著低于相对应的林荫下的海芋叶片。与生长在自然光照下的海芋相比,林荫下海芋的倒1叶、倒2叶、倒3叶、倒4叶、倒5叶的叶绿素 a 含量分别增加了 66.67%、21.43%、33.64%、17.86%、1.71%。

叶绿素 b 及总叶绿素含量的变化趋势与叶绿素 a 的变化趋势一致,只是变化幅度上有差异。与生长在自然光照下的海芋相比,林荫下海芋的倒1叶、倒2叶、倒3叶、倒4叶、倒5叶的叶绿素 b 含量分别增加了 93.62%、59.76%、70.15%、41.89%、22.08%;总叶绿素含量分别增加 73.30%、30.84%、41.84%、24.16%、6.75%。

在自然光照下的海芋叶片叶绿素 a 与叶绿素 b 含量的比值无显著差异(除倒3叶显著高于其他叶片外)。在林荫下生长的海芋倒1叶该比值显著高于其他叶片,倒2叶显著低于其他叶片,其余3个叶片无显著差异。从表2中可知,自然光照下生长的海芋均显著高于在林荫下生长的海芋相对应的该比值。与生长在自然光照的海芋相比,林荫下海芋的倒1叶、倒2叶、倒3叶、倒4叶、倒5叶的叶绿素 a 与叶绿素 b 含量的比值分别降低了 13.59%、22.55%、21.00%、17.11%、17.11%。

2.3 不同叶位叶片 SPAD 值与叶绿素含量之间的相关分析

由表3可知,自然光照下生长的海芋倒3叶的 SPAD 值与其叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量均显著相关,而倒1叶和倒4叶的 SPAD 值与其叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量均极显著相关。相关性最大的是倒4叶。林荫下生长的海芋倒2叶和倒4叶的 SPAD 值与其叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量均显著相关,而倒1叶和倒5叶的 SPAD 值与其叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量均极显著相关。相关性最大的是倒5叶。不同光照条件下叶片的 SPAD 值与其叶绿素含量均存在不同程度的正相关性,说明在不同生长条件下的海芋要利用 SPAD 值快速代替测量植物叶绿素时需要考虑取哪一片叶的问题。本试验表明在阳光下生长的海芋利用倒4叶的 SPAD 值更能准确地预测其叶绿素含量,而在遮阴下生长的海芋倒5叶的 SPAD 值更能准确地预测其叶绿素含量。

表3 不同叶位叶片 SPAD 值与叶绿素含量之间的相关系数¹⁾

Tab.3 The correlation coefficient between SPAD value and chlorophyll content of different leaves

| 不同叶位 SPAD 值 | 叶绿素 a | 叶绿素 b | 总叶绿素 |
|-------------|---------|---------|---------|
| 自然光照下倒1叶 | 0.940** | 0.876** | 0.927** |
| 自然光照下倒2叶 | 0.482 | 0.651 | 0.530 |
| 自然光照下倒3叶 | 0.763* | 0.817* | 0.776* |
| 自然光照下倒4叶 | 0.943** | 0.949** | 0.945** |
| 自然光照下倒5叶 | 0.619 | 0.427 | 0.580 |
| 林荫下倒1叶 | 0.858** | 0.840** | 0.852** |
| 林荫下倒2叶 | 0.798** | 0.722* | 0.768* |
| 林荫下倒3叶 | 0.587 | 0.334 | 0.492 |
| 林荫下倒4叶 | 0.791* | 0.749* | 0.780* |
| 林荫下倒5叶 | 0.948** | 0.957** | 0.960** |

1) *表示 0.05 水平显著相关,**表示 0.01 水平显著相关(双变量相关性分析方法)。

3 讨论与结论

3.1 不同光照度生境对海芋块茎生长发育的影响

本研究结果表明,林荫下海芋块茎长度显著增加,块茎茎围显著降低,外形特征表现为“细长”型,自然光照下的海芋块茎长度显著低于林荫下块茎,块茎茎围显著高于林荫下块茎,外形特征表现为“短粗”型。相似的研究结果表明,在强光照水平下,植株株高低于林荫下块茎,茎粗增加,单叶面积降低,同时加大了对根的生物量分配,在弱光照水平下,增加了对叶的生物量分配,中度光照条件下植株株高、茎粗、单叶面积及植株对根和叶生物量的分配则处于两者之间^[10]。弱光照条件有利于石斛 *Dendrobium* 的株高增长,但不利于产量和质量提高^[11]。同一种植物在不同的光照环境中往往表现出相应的形态特征^[12]。比如,叶片在遮荫条件下,会通过增大叶长和叶宽来增加光合作用的叶面积,以增加对光能的捕获能力^[13]。这些研究结果说明弱光照条件下植物的株高(地上部块茎长度)增加可能是植株为了获取更多的阳光以补偿光照的不足。

3.2 不同光照度生境对海芋块茎淀粉含量的影响

本研究结果表明,林荫下海芋块茎淀粉含量较自然光照下显著降低。在水稻 *Oryza sativa* 上的研究也表明,遮阴 20%~80% 的处理均降低了稻米直链淀粉的含量^[7],且降低的幅度随遮阴程度的增加而增加。

3.3 不同光照度生境对海芋不同叶位叶片的 SPAD 值和叶绿素含量的影响

本研究结果显示,自然光照下海芋的 SPAD 值、叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量均比在林荫下生长的海芋低,但叶绿素 a 与叶绿素 b 含量的比值要高。

自然光照下海芋叶片 SPAD 值从倒 1 叶至倒 5 叶逐渐增加(除倒 3 叶外)。林荫下生长的海芋叶片 SPAD 值从倒 1 叶至倒 2 叶是增加的,从倒 3 叶至倒 5 叶逐渐降低,最大值在倒 2 叶。光照度对叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量的影响趋势与 SPAD 值的影响趋势一致,只是影响幅度不同。说明林荫下光照不足,海芋通过增加叶绿素含量捕获更多的光能以补偿生长的需要,而且叶位越高其值越大。有相似研究表明,适当的遮阴条件下植物通过增加叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总量,降低其叶绿素 a 与叶绿素 b 含量的比值来增加对环境光能的利用能力^[14]。也有研究表明不同光照对高羊茅 *Festuca arundinacea* 的叶绿素含量及叶绿素 a 与叶绿素 b 含量比值的影响随其品种的不同而不同^[15]。这些研究结果说明不同作物对光照度的响应不同。

3.4 叶片 SPAD 值与叶绿素含量的关系

SPAD-502 叶绿素仪可在田间无损状况下快速测量植物单位面积叶片叶绿素的相对含量^[16-17],即 SPAD 值。许多研究表明作物的叶绿素含量与 SPAD 值具有很好的相关性^[18]。本研究发现无论自然光照下还是林荫下生长的海芋的所有叶片的 SPAD 值与其叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量均呈一定的正相关性,有些叶片还呈极显著相关性。说明可以用 SPAD 仪来代替海芋叶片叶绿素绝对含量的测定。

3.5 结论

海芋块茎在自然光照下表现为“短粗”型,在林荫下表现为“细长”型。光照有利于海芋淀粉的合成。光照不足的情况下海芋通过增加叶片的 SPAD 值、叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量来捕获光能。海芋不同叶位的 SPAD 值、叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量在不同光照条件下反应不一致,在林荫下,海芋通过提高上层叶的叶绿素含量捕获更多的光能,以补偿光照的不足。在自然光照下的海芋倒 4 叶的 SPAD 值更能准确预测其叶绿素的绝对含量,而在林荫下生长的海芋倒 5 叶的 SPAD 值更能准确地预测其叶绿素的绝对含量。本研究为叶绿素仪正确应用到海芋生理试验中提供了科学依据,也为海芋的进一步合理开发利用提供一些基础数据。

参考文献:

[1] 可燕,周秀佳,柏巧明,等. 我国海芋属植物资源及利用[J]. 湖北农学院学报,1999,19(1):11-13.
[2] 吴爱爱,刘迎辉,李震,等. 马齿苋在不同光照强度下生物量及营养成分的动态变化研究[J]. 食品工业科技,2008,29(6):102-103.

[3] 桂克印,文亮晶,李炎,等. 不同光照处理对绿萝表型可塑性的影响[J]. 安徽农业科学,2009,37(21):9956-9960.
[4] 芦站根,周文杰,赵昌琼. 不同光照强度对曼地亚红豆杉叶抗寒力的影响[J]. 植物研究,2003,23(23):285-289.
[5] 冯志立,冯玉龙,曹坤芳. 光强对砂仁叶片光合作用光抑制及热耗散的影响[J]. 植物生态学报,2002,26(1):77-82.
[6] 罗美佳. 光照对三七生长、光合特性及有效成分积累的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2014:1-34.
[7] 吴伟,程旺大,徐建良. 灌浆成熟期光照强度对早籼稻直链淀粉含量及淀粉 RVA 谱特性的影响[J]. 浙江农业学报,2006,18(3):141-145.
[8] 安翠香. 光照强度对甜瓜果实大小发育和糖分积累的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学,2008.
[9] 高俊凤. 植物生理实验技术[M]. 西安:世界图书出版公司,2000:101-148.
[10] 王祥宁,熊丽,陈敏,等. 不同光照条件下东方百合生长状态及生物量的分配[J]. 西南农业学报,2007,20(5):1091-1096.
[11] 丑敏霞,朱利泉,张玉进,等. 不同光照强度和温度对金钗石斛生长的影响[J]. 植物生态学报,2001,25(3):325-330.
[12] 葛永金,刘跃钧,高伟,等. 不同光照强度下楠木属 3 个树种苗木的形态响应与适应[J]. 江西农业大学学报,2014,36(1):109-114.
[13] MOREIRA A S F P, DE LEMOS FILHO J P, ZOTZ G, et al. Anatomy and photosynthetic parameters of roots and leaves of two shade-adapted orchids, *Dichaea cogniauxiana* Schltr. and *Epidendrum secundum* Jacq. [J]. Flora-Morphol Distrib Funct Ecol Plants, 2009,204(8):604-611.
[14] 刘文海,高东升,束怀瑞. 不同光强处理对设施桃树光合及荧光特性的影响[J]. 中国农业科学,2006,39(10):2069-2075.
[15] 杨志民,陈煜,韩烈保,等. 不同光照强度对高羊茅形态和生理指标的影响[J]. 草业学报,2007,16(6):23-29.
[16] 童淑媛,宋凤斌,徐洪文. 玉米不同叶位叶片 SPAD 值的变化及其与生物量的相关性[J]. 核农学报,2008,22(6):869-874.
[17] HLAVINKA J, NAUŠ J, ŠPUNDOVÁ M. Anthocyanin contribution to chlorophyll meter readings and its correction [J]. Photosynth Res,2013,118(3):277-295.
[18] MONJE O A, BUGBEE B. Inherent limitations of nondestructive chlorophyll meters: A comparison of two types of meters[J]. Hort Sci, 1992,27(1):69-71.

【责任编辑 李晓卉】