

王晓琳,田立国,李 猛,等.燕子掌电信号随光照度变化的分析[J].江苏农业科学,2016,44(11):64-66,141.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.11.018

燕子掌电信号随光照度变化的分析

王晓琳,田立国,李 猛,李玉爽

(天津职业技术师范大学/天津市信息传感与智能控制重点实验室,天津 300222)

摘要:光环境是影响光合作用最重要的因素。不同植物所需的最适宜光照条件不同,通过检测计算燕子掌(*Cras-sula obliqua*)电信号的时域和频域特性,研究不同光照度下燕子掌电信号时域峰峰值、均值、频域功率谱的变化,以及表征它们的特征值谱重心频率、谱边缘频率和功率谱熵,探究它们最适宜的光照度。试验证明,燕子掌电信号是一种微弱低频信号,其光合作用的强弱与其植物电信号密切相关,燕子掌最适宜的光照度为 24 000 ~ 29 500 lx,在此光照度范围其光合作用较强。

关键词:光合作用;植物电信号;燕子掌;时域和频域分析

中图分类号: TP274;S184 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)11-0064-03

植物电信号是一种能够在细胞、组织间传递的微弱信号^[1],它是植物对环境变化刺激引起的反应^[2],电信号激发植物产生运动、生长代谢及物质运输等生理变化,从而调节植物与外部环境的联系^[3]。不同环境刺激会使植物产生不同的电位波动,因此可以通过观察植物电信号的变化来检测外部环境因子的改变^[4-6],以此营造作物自身最适宜的生长环境,从而为温室调控提供一种可行的方法,为农业现代化的发展奠定基础。

光合作用是一切植物赖以生存的基础^[7],光照是植物能量的来源,因此光照度是植物生长发育过程中最重要的环境影响因子之一,光环境对植物生长的各个方面都有着广泛的调节作用。光照的很多因素都会影响植物生长过程中的健康状况以及生长快慢^[8],主要包括光照度(光量)、光质(光谱成分)、光周期(明/暗期时间^[9])。本研究通过对不同光照条件下燕子掌(*Crassula obliqua*)电信号进行采集,并对其进行系统精确地分析,以确定光照度对燕子掌生长的具体影响。

1 材料与方法

1.1 测试仪器及材料

基于 NI-DAQ 数据采集和 LabView 的植物电信号检测及采集系统;可控 LED 灯光板(红蓝配比为 8:1,可调节发光亮度);自制铜网屏蔽室(150 cm × 50 cm × 150 cm);铂金电极(直径 0.3 mm);生长状态良好的盆栽燕子掌。试验的环境参数保持为:温度保持在 25 ~ 28 ℃,花盆土壤湿度为 15% ~ 25%,室内空气湿度为 40% ~ 50%,手持式光谱计 MK350(可检测光照度)。

收稿日期:2016-01-13

基金项目:国家高技术研究发展计划(“863”计划)(编号:2013AA03A120);天津职业技术师范大学优秀青年教师资助计划(编号:KJ13-02);天津职业技术师范大学校级课题(编号:KJ14-10)。

作者简介:王晓琳(1988—),男,河北张家口人,硕士研究生,从事控制理论与控制工程研究。E-mail: xiaolinjiakou2@sina.com。

1.2 方法

将盆栽生长状况良好的燕子掌放入植物生长柜中,置于自制的铜网屏蔽箱内,在植物箱顶放置可控光的 LED 灯光板,屏蔽箱和屏蔽室外壳接地,铂金电极直接刺入植物叶片组织,正负电极之间的距离约为 10 mm,将铂金电极接入植物电采集系统的正负两极,接地电极插入土壤中,信号经过两电极接入植物电信号采集系统,合理设置其参数,而后将转换的数据经过 USB 传输线输入计算机,采集装置图 1 所示。

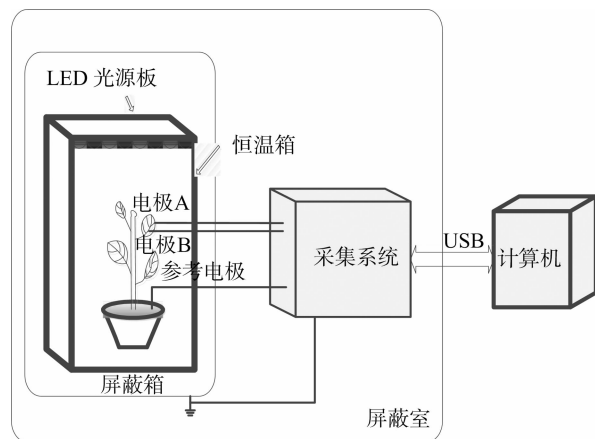


图1 植物电信号采集装置示意

2 时域和频域分析

为了更好地说明采集到的电信号,首先让采集系统工作 1 h,待工作稳定后先不接任何植物,看采集系统受到外界噪声干扰有多大,从噪声图(图 2)可以看出,外界噪声很小,该系统可以很好地满足试验要求。

2.1 燕子掌信号的时域分析

时域分析是最基本的信号分析方法,它可以表现最基本的信号特征,LED 灯光板的发光亮度可控(量程为 1% ~ 100%),满量程为 100%,分别设置 10% (8 003 lx)、20% (15 010 lx)、35% (19 230 lx)、50% (24 015 lx)、65% (27 819 lx)、80% (29 430 lx) 6 种不同的光照环境,他们对应

的光照度由光谱计 MK350 测定,植物生长温度保持在 $25 \sim 28^{\circ}\text{C}$,相对湿度保持在 45%。植物电信号是一种微弱信号,因此受噪声影响极大,如不进行消噪,很有可能使有用信号淹没于噪声中。目前小波软阈值消噪已被广泛应用于脑电、心电、肌电等微弱电信号的研究^[10-11],并取得良好的试验效果,所以将采集到的信号先经过小波软阈值消噪,经过 Matlab 计算,时域分析统计特征中峰峰值和均值与光照关系的曲线为图 3。

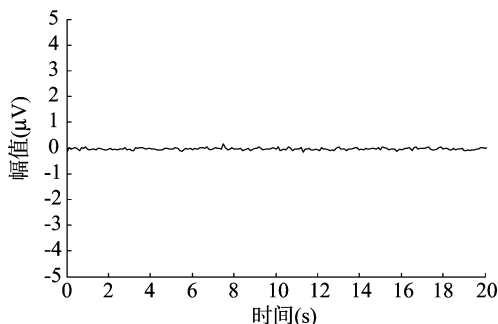


图2 噪声信号波形图示意图

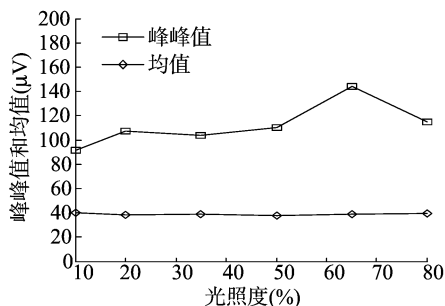


图3 6种LED光照燕子掌电信号的峰峰值和均值

峰峰值的数值大小是最大值减去最小值,反映信号幅值的波动程度,而均值是信号的平均值,它可以反映出信号变化的基本趋向,这2个特征值可以表达出植物电信号在时域分析中的重要信息。由图3可以看出,在可变的光照条件下,燕子掌电信号的幅值单位大小为 μV 级,从LED灯光板亮度的10% (8 003 lx)一直到65% (27 819 lx),燕子掌电信号的峰峰值是不断上升的趋势,到80% (29 430 lx)时其特征值不如65%时大,表明植物电信号呈下降趋势,由植物电信号峰峰值先升后降,可知植物的光合作用先是增强,到达一个临界点,当光照继续增强时,植物受到光抑制^[12],随后光合作用减弱,而均值变化的趋势不是很明显,基本呈现出水平直线形状,表明采集植物电信号的仪器系统稳定性良好,可以准确地检测提取植物电信号。

2.2 燕子掌电信号的频域分析

时域分析只能简单地从时域的角度出发分析信号特征,如果想要更加准确和客观地分析植物电信号,频域分析是必不可少的,因为植物电信号是一种包含多种不同频率的复杂信号,用功率谱分析法^[13]可以很好地表征出电信号随光照度变化的频率特性,功率谱估计是把随时间变化的电信号幅值转化为功率谱随频率变化的功率谱图,比单纯从频率谱角度分析更加清晰直观,由于植物电信号的特性,经典的功率谱估计不适合植物电信号的频域分析,因为用此方法得出的估计

值方差特性不好,频率分辨率低,而现代功率谱估计AR模型估计型估计的频率分辨率高,因此适合植物电信号短数据的处理,而且谱图平滑,有利于特征值的分析研究。鉴于此,本研究拟采用现代功率谱估计AR模型功率谱估计对植物电信号频域分析。

简单描述AR模型功率谱估计:AR模型是根据已观察到的样本数据来选择一个正确的模型,认为除样本数据外其他信号数据都是白噪声通过此模型产生的,因此与经典谱估计有区别(经典功率谱估计认为样本数据以外的数据全为0),这就有可能获取到更好的估计,避免了估计方差性能不好、分辨率低的不足,用这种方法得到的频率分辨率较高,因此它是一种高分辨率谱估计法。

图4为10%光照度下未消噪信号功率谱和经过小波软阈值消噪后的AR功率谱估计,可以看到植物电信号受外界噪声干扰严重,小波软阈值消噪可以很好地消除部分噪声,同时也说明使用AR功率谱估计植物电信号频域特性切实可行。

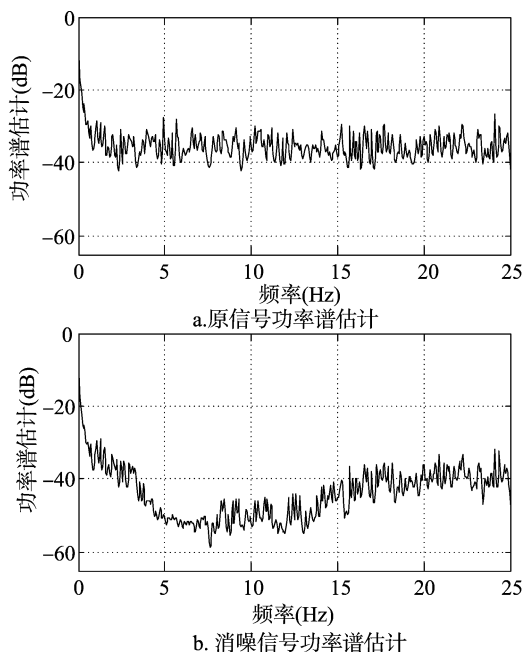


图4 消噪前和消噪后燕子掌电信号AR功率谱估计

为了更好地显示频域特性,横轴的频率范围选择到5 Hz,6种不同光照条件下功率谱估计图在Matlab软阈值消噪后信号的AR模型功率谱见图5。

由图5可知,植物电信号是一种低频信号,大部分能量集中在0.5 Hz以下,高频处也存在一些功率谱线,可以认为主要是外界噪声干扰造成的。从6组光照度图来看,前4组燕子掌功率谱特性曲线随光照度变化不大,但也可以明显看出在光照条件5时功率谱有明显变化,那就是0.5~2.5 Hz之间的功率谱比其他图要大,功率谱更集中,功率谱曲线有向高频变化的趋势,说明在光照条件5时比其他光照条件反应强烈,大致趋势也间接证明光合作用随光照度的不断增强先是增强,而后下降,这与时域峰峰值反映的信息基本一致。

为了更好地反映植物随光照变化的频域特性,分别计算谱重心频率(信号功率按频率的分布重心)、谱边缘频率(0 Hz到该频率时的信号功率占总功率的95%)和功率谱熵

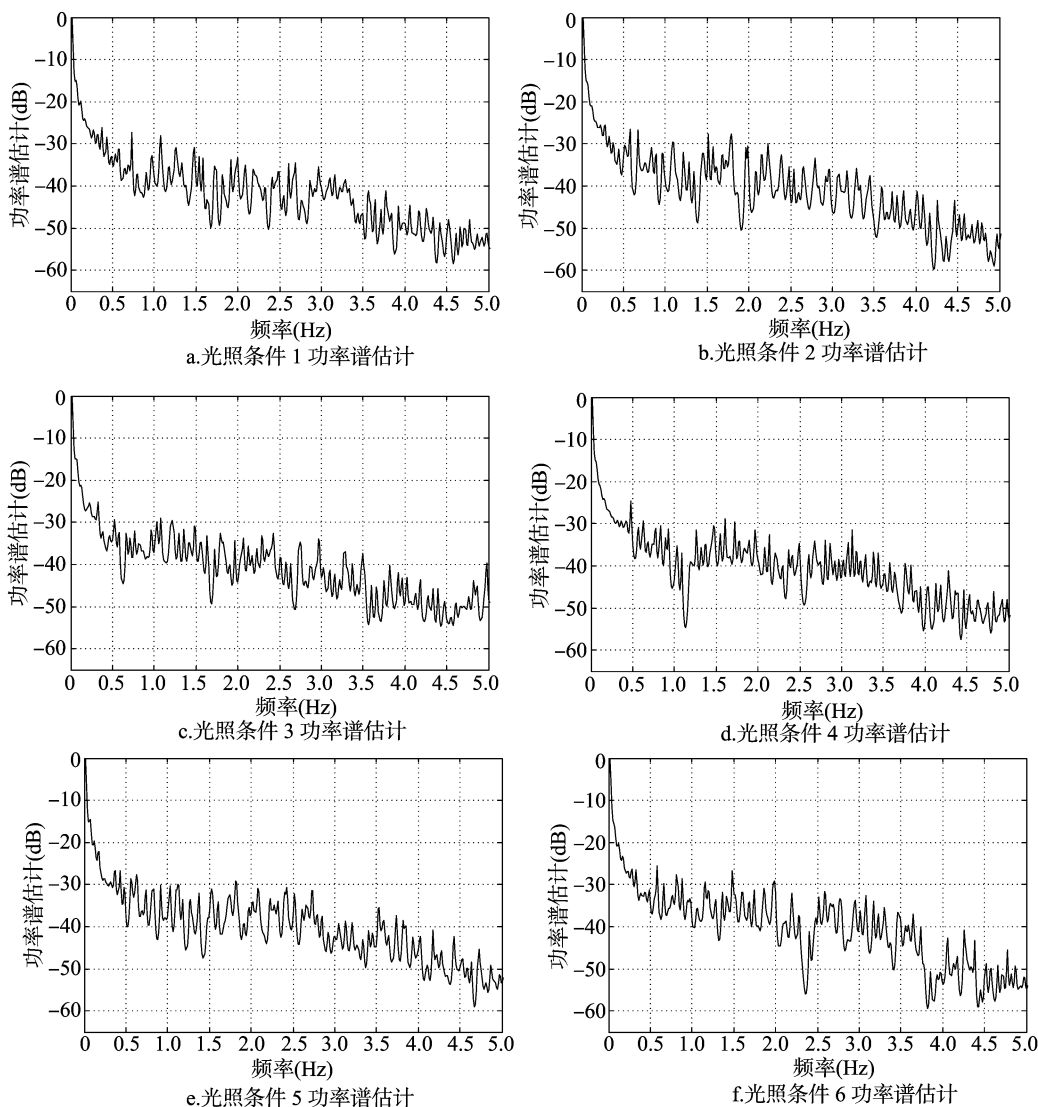


图5 6种LED光照条件下燕子掌电信号的AR功率谱估计

(反映信号的复杂程度),制成图表,如图6与图7。

由图6与图7可以看出,谱重心频率、谱边缘频率和功率谱熵变化规律呈现一致性,在光照度10%~50%变化不是很大,在50%~80%比前一范围反应要大,而且在选取的6个点处65%光照度下特征值最大,谱重心和谱边缘频率越大表明植物受抑制越小,功率谱熵大表明植物电信号复杂度变大,进而说明燕子掌电信号受光照变化而变化,光照度增强电信

号不断增强,当光照度到达一定强度时,光合作用达到最强,之后各特征值呈现下降趋势,表明达到了光饱和,光合作用不再增强。

综合时域和频域各特征值的分析,各特征值反映的总体趋势较为一致,那就是在50%~80%光照度下植物电信号反应较为强烈,根据介值定理可知,在这一光照范围条件下必存在1个临界值点,植物电信号达到最大,光合作用最强。

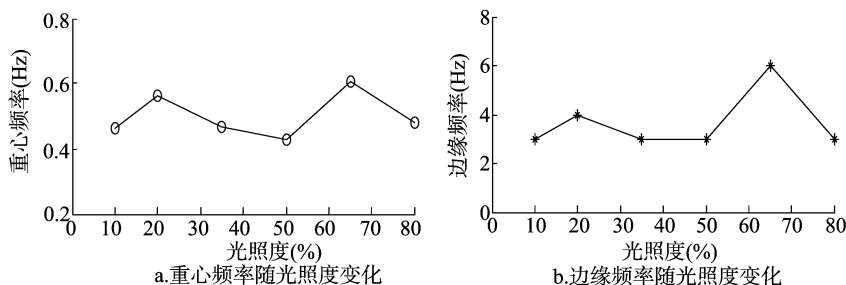


图6 谱重心频率和谱边缘频率随光照的变化

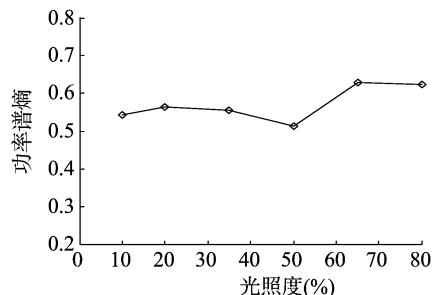


图7 功率谱熵随光照的变化

值的能源作物^[12]。本试验通过对 12 个品种甜高粱不同时期可溶性总糖含量以及 SS、SPS 活性的研究,结果表明,在甜高粱的整个生长发育时期内,可溶性糖含量总体上随着植株的生长不断增加,到成熟期达最大值,茎秆中的总糖的含量高于其在叶片中的含量,说明茎秆是甜高粱糖分储存的主要器官。

叶片中 SS、SPS 活性的变化趋势相同,呈先少量降低,再缓慢上升,最后迅速上升的趋势,且 SS 活性高于 SPS 活性。茎秆中 SS、SPS 活性的变化依然相同,呈上升的趋势。同一时期,茎秆中的 2 种活性要大于叶片中的活性。在生长前期时,叶片和茎秆中的相关活性差异较小,但在生长后期,相同部位的 SS 活性普遍大于 SPS 活性。

对可溶性糖含量和 SS、SPS 活性的相关性分析可以看出,叶片中可溶性总糖与 SS 活性呈极显著正相关($r=0.913, P<0.01$),与 SPS 活性也呈极显著正相关($r=0.92, P<0.01$)。茎秆中可溶性总糖与 SS 活性呈极显著正相关($r=0.989, P<0.01$),与 SPS 活性也呈极显著正相关($r=0.983, P<0.01$)。说明 SS 和 SPS 是影响甜高粱糖积累的重要酶。在成熟期时,辽甜 9 号的总糖含量、SS 和 SPS 活性最高,辽甜 4 号最低,这与成熟期糖积累的情况相符。

研究甜高粱可溶性糖含量及其相关酶活性的变化,可为进一步研究高粱 SS、SPS 表达调控机制、提升高粱含糖量、培育品质优异的甜高粱品种提供参考,对提高甜高粱的产量、生物量、含糖量,及其改良、有效利用和开发具有重要意义。

参考文献:

[1] 卢 峰,邹剑秋,段有厚. 甜高粱茎秆含糖量及主要农艺性状相

(上接第 66 页)

3 结论

通过研究燕子掌的时域和频域特性,可以得出以下结论:燕子掌电信号是一种微弱低频信号,其植物电信号随着光照度的增强而增强,而且必存在 1 个临界点,但由于试验条件有限,不能准确得到,而且在实际环境条件下长期保持在某一精确的数值上比较困难,意义不大,而选取某一段时间对应的一定范围内的光照条件变得十分有意义,试验可得出燕子掌(*Crassula obliqua*)电信号最适宜的光照度范围为 24 000 ~ 29 500 lx。从而为以后建立植物与各种环境因子模型打下了良好的基础。

参考文献:

[1] 娄成后. 高等植物中电化学波的信使传递[J]. 生物物理学报, 1996,12(4):739-745.
[2] 王兰州,李海霞,林 敏,等. 植物微弱电波信号的时、频域分析[J]. 中国计量学院学报,2005,16(4):294-298.
[3] 卢善发. 植物电信号的传递途径与方式[J]. 植物学通报,1996,13(4):23-27.
[4] Hlavackova V, Krchnak P, Naus J, et al. Electrical and chemical signals involved in short-term systemic photosynthetic responses of tobacco plants to local burning[J]. Planta,2006,225(1):235-244.

关性研究[J]. 辽宁农业科学,2013(6):1-4.
[2] Evangel Billa, Dimitris P. Koullas, et al. Structure and composition of sweet sorghum stalk components[J]. Industrial Crops and Products, 1997,6(3):279-302.
[3] Ritter K B, Mc Intyre C L, Godwin ID, et al. An assessment of the genetic relationship between sweet and grain sorghums, within *Sorghum bicolor* ssp. *bicolor* (L.) Moench, using AFLP markers[J]. Euphytica, 2007,157(1):161-176.
[4] 李春宏,张培通,郭文琦,等. 甜高粱青贮饲料研究与利用现状及展望[J]. 江苏农业科学,2014,42(3):150-152.
[5] Rooney W L, Blumenthal J, Bean B, et al. Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock [J]. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 2007,1(2):147-157.
[6] 叶 凯,再吐尼古丽·库尔班,陈维维,等. 不同播种期下甜高粱秸秆 SS、SPS 酶活性的研究[J]. 新疆农业科学,2012,49(10):1874-1880.
[7] 刘彩霞,蒋学皎,陈进红. 作物蔗糖磷酸合成酶 (SPS) 活性调控的研究进展[J]. 科技通报,2008,24(3):355-360.
[8] 薛 薇,崔江慧,孙爱芹,等. 高粱可溶性糖含量与 SS、SPS 酶活性的相关性研究[J]. 中国农业科技导报,2009,11(2):124-128.
[9] 王宏军,邓旭明,蒋 红,等. 蒽酮-硫酸比色法检测多糖条件的优化[J]. 中国饲料,2011(4):39-41.
[10] 李晓旭,李家政. 优化蒽酮比色法测定甜玉米中可溶性糖的含量[J]. 保鲜与加工,2013(4):24-27.
[11] 薛应龙. 植物生理学实验手册[M]. 上海:上海科学技术出版社,1985:148-150.
[12] 张 会,邹维华,张友兵,等. 优质能源甜高粱突变体的筛选与鉴定[J]. 华中农业大学学报,2015,34(5):1-6.

[5] Shvetsova T, Mwesigwa J, Labady A, et al. Soybean electrophysiology effects of acid rain[J]. Plant Science, 2002,162(5):723-731.
[6] Gallé A, Lautner S, Flexas J, et al. Environmental stimuli and physiological responses: the current view on electrical signalling[J]. Environmental and Experimental Botany, 2014,114:15-21.
[7] Brenner E D, Stahlberg R, Mancuso S, et al. Plant neuro-biology: an integrated view of plant signaling [J]. Trends in Plant Science, 2006,11(8):413-419.
[8] Volkov A G, Baker K, Foster J C, et al. Circadian variations in biologically closed electrochemical circuits in *Aloe vera* and *Mimosa pudica* [J]. Bioelectrochemistry, 2011,81(1):39-45.
[9] Chatterjee S K, Ghosh S, Das S, et al. Forward and inverse modeling approaches for prediction of light stimulus from electrophysiological response in plants[J]. Measurement, 2014,53:101-116.
[10] Luo Z Z, Li Y F, Meng M. EMG denoising based on the lifting wavelet transform[J]. Bioinformatics and Biomedical Engineering, 2009,10:256-259.
[11] 游荣义,徐慎初,陈 忠. 多通道脑电信号的盲分离[J]. 生物物理学报,2004,20(1):77-82.
[12] 李新国,孟庆伟,赵世杰. 强光胁迫下银杏叶片的光抑制及其防御机制[J]. 林业科学,2004,40(3):56-59.
[13] 王春兴. 基于 MATLAB 实现经典功率谱估计[J]. 曲阜师范大学学报,2011,37(2):59-62.