

不同强度静电场长期处理对3种作物 几种光合生理指标的影响

曹永军, 习 岗, 宋 清, 杨初平

(华南农业大学理学院, 广东 广州 510642)

摘要:在0.1、0.3和0.5 kV·cm⁻¹不同场强的静电场长期作用下,大豆、黄瓜和油青菜心叶片的叶绿素含量、PS II的潜在活性和原初光能转换效率、叶绿体Mg²⁺-ATP酶和Ca²⁺-ATP酶活性以及光合代谢产物可溶性蛋白和可溶性糖含量均有不同程度的提高,表明用静电场长期处理作物能够有效地改善作物的光合性能,促进作物的光合作用与光合产物的积累.不同作物对不同场强静电场的响应有所差异,本试验条件下,对大豆、黄瓜和油青菜心处理效果最好的静电场强度分别为0.1、0.3和0.5 kV·cm⁻¹.

关键词:静电场; 作物; 光合性能; 叶绿素荧光参数; ATP酶

中图分类号:Q689

文献标识码:A

文章编号:1001-411X(2007)01-0086-05

Effects of Long-term Treatment with Different Electrostatic Fields on Photosynthetic and Physiological Indices of Three Crops

CAO Yong-jun, XI Gang, SONG Qing, YANG Chu-ping

(College of Sciences, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China)

Abstract:Seedlings of *Glycine max*, *Cucumis sativus* and *Brassica campestris* were treated with 0.1, 0.3 and 0.5 kV·cm⁻¹ electrostatic field for 10 d. The chlorophyll content, the potential activity and primary photochemical efficiency of PS II, the activities of Ca²⁺-ATPase and Mg²⁺-ATPase in chloroplast membrane as well as the contents of soluble protein and soluble sugar in leaves of three crops were obviously increased compared with the control. The result indicated that crops treated with electrostatic field could efficiently improve photosynthetic properties, leading to the promotion of photosynthesis and accumulation of photosynthate in crops. The responses of tested three crops to electrostatic field were somewhat different. *Glycine max*, *Cucumis sativus* and *Brassica campestris* had the most prominent effect while treated with 0.1, 0.3 and 0.5 kV·cm⁻¹ strength electrostatic field, respectively.

Key words: electrostatic field; crops; photosynthetic properties; chlorophyll fluorescence parameters; ATPase

电场生物学效应已有不少研究.在农业上,电场生物学效应的研究目的之一是查明异常环境电场对作物的生长乃至经济产量有无促进作用,确定最佳的电场处理方式,诱发最大的生物学效应,从而开发出行之有效的农业物理新技术.研究发现,用高压静

电场短时预处理种子能提高种子活力,促进萌发和幼苗生长^[1-3].相对而言,静电场长期处理作物植株的生物学效应研究较少,特别是静电场对作物光合作用的影响研究更为薄弱,环境静电场的变化对作物光合作用的影响尚不很清楚.有鉴于此,本试验研

收稿日期:2004-12-27

作者简介:曹永军(1977—),男,硕士;通讯作者:习 岗(1957—),男,教授, E-mail: xigangchao@tom.com

基金项目:广东省自然科学基金(010297)

究了不同强度的静电场长期作用下大豆、黄瓜与油青菜心3种作物光合色素含量、叶绿素a(Chla)荧光动力学参数、叶绿体ATP酶活性以及光合产物可溶性蛋白与可溶性糖含量的变化,试图分析长期静电场处理对作物光合性能的影响,为电场农业新技术的开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 电场处理装置

静电场由自制的电场处理装置产生。该处理装置主要由静电发生器和一对上、下两块平行搁置直径为1 m的铝板组成。在静电发生器中采用闭环调整的高频脉宽调制技术,经多级倍压整流得到直流高压,其输出电压可在0~100 kV之间自由选择连续可调。输出的电压加在铝板电极上,在两铝板之间形成一个电场连续可调的均匀电场区域。处理时分别将平板电极的上极板和下极板接静电发生器“+”极输出和“-”极输出,形成自上而下的正向电场。

1.2 试验材料与静电场处理

大豆 *Glycine max* 巴西10号由华南农业大学农学院提供,油青菜心 *Brassica campestris* 美青一号和黄瓜 *Cucumis sativus* 粤秀二号由广东省农业科学院蔬菜研究所提供。大豆、黄瓜和油青菜心种子播种在 $d=25$ cm 的营养钵中,温室中培养15 d后进行静电场处理。电场强度设为0.1、0.3、0.5 $\text{kV} \cdot \text{cm}^{-1}$,每天上、下午在室内光照条件(日光灯照射,约 $10\,000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)下各开机处理3 h,其余时间放回温室中培养,连续处理10 d。每处理5盆,每盆栽种4株。对照组生长条件除不加电场外,其他与处理组相同。

1.3 试验指标测定

采相同叶位的叶(第3叶)进行各种生理指标的测定。叶绿素含量用 Arnon^[4] 的方法测定,以每克鲜质量所含叶绿素表示($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)。可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝 G-250 染色法^[5],以每克鲜质量所含可溶性蛋白表示($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)。可溶性糖含量测定采用苯酚法^[5],以每克干质量所含可溶性糖表示($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)。叶绿体 Mg^{2+} -ATP酶和 Ca^{2+} -ATP酶活性测定参照蔡建萍等^[6]的方法,以每克鲜质量每分钟反应生成无机磷的量表示($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)。用上海精密科学仪器有限公司生产的752型分光光度计比色。以上指标重复测定5次。Chla荧光动力学参数参照习岗等^[7]的方法,采用中国科学院植物研究所等单位研制的PFM102

型植物动力学荧光仪测定,重复20次。

数据的差异显著性分析采用 t 检验,用 Excel 统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同强度静电场处理对作物叶片叶绿素含量的影响

图1所示为不同强度静电场长期处理对大豆、黄瓜与油青菜心3种作物叶片叶绿素含量的影响。由图1可见,经0.1、0.3和0.5 $\text{kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ 静电场长期处理后,大豆、黄瓜和油青菜心3种作物的叶绿素含量均较对照有较大幅度的增长,其中,大豆叶绿素含量分别增加了41.1% ($P < 0.01$)、14.7% ($P < 0.01$)和8.5% ($P < 0.05$),黄瓜分别增加了16.4% ($P < 0.01$)、19.0% ($P < 0.01$)和8.5% ($P < 0.05$),油青菜心分别增加了28.8% ($P < 0.01$)、14.6% ($P < 0.01$)和24.8% ($P < 0.01$)。其中,大豆以0.1 $\text{kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ 静电场处理的影响最大,黄瓜以0.3 $\text{kV} \cdot \text{cm}^{-1}$,油青菜心以0.1和0.5 $\text{kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ 处理影响更为显著。

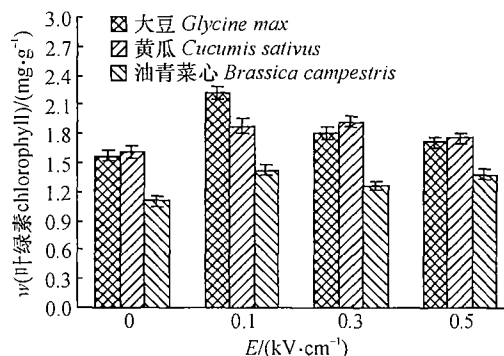


图1 不同强度静电场对作物叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effects of different strengths of electrostatic field on the chlorophyll content of crop leaves

2.2 不同强度静电场处理对作物叶片 Chla 荧光动力学参数的影响

在光合作用的研究中,近十几年兴起的利用 Chla 荧光诱导动力学技术所测得的参数是一种快速、灵敏、无损地反映植物光合作用系统的运转和变化的指标^[8]。在 Chla 荧光动力学各参数中, F_v/F_0 反映了 PS II 的潜在活性, F_v/F_m 表征了光合细胞中 PS II 原初光能转换效率的大小^[9]。因而, F_v/F_0 和 F_v/F_m 可以作为快速、简便地预测作物产量潜力的一种物理指标^[10]。 $\Delta F_v/T$ 为可变荧光猝灭速率,它反映了光合电子传递速率的大小^[11]。表1分别给出了 $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的光强作用下,经不同强度静电

场长期处理的大豆、黄瓜和油青菜心叶片 Chla 荧光参数值. 从表 1 中可以看到, 经过 3 种静电场处理后, 大豆、黄瓜和油青菜心叶片的荧光动力学参数 F_v/F_0 和 F_v/F_m 均比未受电场处理的对照组有所提高, 表明在这些强度的静电场长期处理下, 3 种作物叶片光合细胞 PS II 的潜在活性及原初光能转换效率

提高了. 同时, $\Delta F_v/T$ 与 F_v/F_0 及 F_v/F_m 有相同的变化趋势, 表明外加静电场加快了光合电子传递速率. 就 3 个荧光动力学参数的增长幅度来看, 3 种作物略有差异. 大豆和黄瓜对 $0.3 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ 的静电场反应最大, 而油青菜心对 $0.5 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ 的静电场反应最大.

表 1 不同强度静电场处理对作物叶绿素 a 荧光动力学参数的影响¹⁾

Tab.1 Effect of various electrostatic fields on the kinetic parameters of chlorophyll fluorescence in crop leaves

作物 crop	$E/$ ($\text{kV} \cdot \text{cm}^{-1}$)	F_v/F_0		F_v/F_m		$\Delta F_v/T$	
		比值 ratio	增长率 increment rate/%	比值 ratio	增长率 increment rate/%	比值 ratio	增长率 increment rate/%
大豆 <i>Glycine max</i>	0(CK)	$1.746 \pm 0.124 \text{ a}$	0	$0.636 \pm 0.026 \text{ a}$	0	$0.295 \pm 0.028 \text{ a}$	0
	0.1	$1.960 \pm 0.150 \text{ c}$	12.3	$0.647 \pm 0.018 \text{ a}$	1.8	$0.306 \pm 0.036 \text{ a}$	3.9
	0.3	$2.051 \pm 0.134 \text{ c}$	16.7	$0.668 \pm 0.021 \text{ b}$	5.1	$0.351 \pm 0.042 \text{ c}$	18.9
	0.5	$1.917 \pm 0.120 \text{ b}$	9.1	$0.655 \pm 0.020 \text{ ab}$	3.0	$0.334 \pm 0.035 \text{ b}$	13.4
黄瓜 <i>Cucumis sativus</i>	0(CK)	$1.542 \pm 0.120 \text{ a}$	0	$0.603 \pm 0.018 \text{ a}$	0	$0.310 \pm 0.022 \text{ a}$	0
	0.1	$1.678 \pm 0.132 \text{ b}$	8.8	$0.626 \pm 0.021 \text{ b}$	3.8	$0.347 \pm 0.024 \text{ b}$	11.9
	0.3	$1.790 \pm 0.126 \text{ c}$	16.0	$0.640 \pm 0.025 \text{ bc}$	6.2	$0.360 \pm 0.029 \text{ bc}$	16.3
	0.5	$1.582 \pm 0.124 \text{ a}$	2.6	$0.608 \pm 0.022 \text{ a}$	0.8	$0.311 \pm 0.020 \text{ a}$	0
油青菜心 <i>Brassica campestris</i>	0(CK)	$1.186 \pm 0.102 \text{ a}$	0	$0.536 \pm 0.021 \text{ a}$	0	$0.181 \pm 0.018 \text{ a}$	0
	0.1	$1.353 \pm 0.108 \text{ b}$	14.0	$0.575 \pm 0.026 \text{ b}$	7.3	$0.195 \pm 0.015 \text{ b}$	7.7
	0.3	$1.313 \pm 0.112 \text{ b}$	10.7	$0.558 \pm 0.025 \text{ ab}$	4.1	$0.181 \pm 0.010 \text{ a}$	0
	0.5	$1.473 \pm 0.121 \text{ c}$	24.1	$0.592 \pm 0.028 \text{ bc}$	10.3	$0.206 \pm 0.018 \text{ c}$	13.5

1) 同种作物同列数据后字母不同者表示差异显著 ($P < 0.05$, t 检验); F_0 表示固定荧光, F_v 表示可变荧光, F_m 表示最大荧光, $\Delta F_v = F_m - F_0$ (其中 F_m 表示最大荧光 F_m 下降到亚稳态 S 相的荧光, T 为相应的下降时间)

2.3 不同强度静电场处理对作物叶绿体 Mg^{2+} - ATP 酶和 Ca^{2+} - ATP 酶活性的影响

在植物光合作用中, ATP 酶的活性与光合磷酸化活性和光合作用的强弱密切相关. 其中, 叶绿体结合酶 Mg^{2+} - ATP 酶和 Ca^{2+} - ATP 酶活性与叶片光合磷酸化活性和 ATP 含量呈显著正相关, 因此, 较高的 Mg^{2+} - ATP 酶和 Ca^{2+} - ATP 酶活性可以作为鉴定作物高光合速率的指标^[12]. 外加长期静电场处理对作物叶绿体 Mg^{2+} - ATP 酶和 Ca^{2+} - ATP 酶活性

的影响见图 2. 经过 0.1、0.3 和 $0.5 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ 外加静电场长期处理, 大豆叶片中 Mg^{2+} - ATP 酶活性 (图 2a) 较未经静电场处理的对照组分别增加 9.0% ($P < 0.05$)、6.5% ($P < 0.05$) 和 2.7% ($P > 0.05$), 黄瓜分别增加 3.8% ($P > 0.05$)、10.3% ($P < 0.05$) 和 7.8% ($P < 0.05$), 油青菜心分别增加 5.1% ($P < 0.05$)、2.6% ($P > 0.05$) 和 5.9% ($P < 0.05$). 在图 2b 中, 经过 0.1、0.3 和 $0.5 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ 外加静电场长期处理大豆叶片中 Ca^{2+} - ATP 酶活性较未经静电场

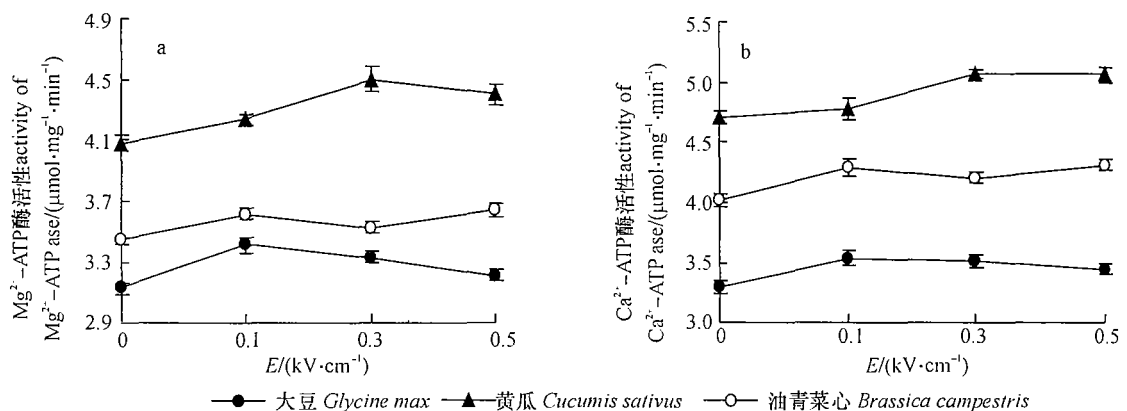


图 2 不同静电场对作物叶片叶绿体膜上 Mg^{2+} - ATP 酶和 Ca^{2+} - ATP 酶活性的影响

Fig.2 Effects of electrostatic field on the activities of Mg^{2+} - ATPase and Ca^{2+} - ATPase on chloroplast membrane of crop leaves

处理的对照组分别增加了7.37% ($P < 0.05$)、6.5% ($P < 0.05$)和4.6% ($P > 0.05$),黄瓜分别增加了1.4% ($P > 0.05$)、7.6% ($P < 0.05$)和7.5% ($P < 0.05$),油青菜心分别增加6.6% ($P < 0.05$)、4.6% ($P > 0.05$)和7.2% ($P < 0.05$). 这些结果表明,外加静电场长期处理提高了作物的光合磷酸化活性,从而可能增强光合能力.

2.4 不同强度静电场处理对作物叶片可溶性蛋白与可溶性糖含量的影响

作物叶片中可溶性糖与可溶性蛋白是光合作用中间代谢合成的产物,其含量的增加直接代表了作物的代谢水平和生产潜力,静电场对光合过程的影响最终应通过光合产物的变化反映出来. 图3a给出了不同场强静电场长期处理对作物叶片内可溶性蛋白含量的影响. 经过0.1、0.3和0.5 $\text{kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ 的静电场长期处理后,大豆叶片中可溶性蛋白的含量较未经静电场处理的对照组分别增加30.2%、15.7%和13.7%,差异都达到了极显著的水平

($P < 0.01$);黄瓜较对照分别增加6.1% ($P < 0.05$)、26.7% ($P < 0.01$)和7.7% ($P < 0.05$);油青菜心较对照分别增加了16.9% ($P < 0.01$)、9.4% ($P < 0.05$)和33.4% ($P < 0.01$). 图3b为经过0.1、0.3和0.5 $\text{kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ 的静电场长期处理后对作物叶片内可溶性糖含量的影响. 大豆叶片中可溶性糖的含量较对照组分别增加10.5% ($P < 0.01$)、8.3% ($P < 0.01$)和5.5% ($P < 0.05$);黄瓜较对照分别增加13.5% ($P < 0.01$)、14.6% ($P < 0.01$)和5.0% ($P < 0.05$);油青菜心较对照分别增加了10.8% ($P < 0.05$)、8.9% ($P < 0.05$)和17.5% ($P < 0.01$). 可见,3种强度的静电场处理均能有效地促进光合产物的积累及其代谢过程. 就促进效果的差异性而言,同一电场强度下,3种作物的反应略有不同. 对大豆促进作用最大的是0.1 $\text{kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ 的静电场,对黄瓜促进作用最大的是0.3 $\text{kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ 的静电场,对油青菜心促进作用最大的是0.5 $\text{kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ 的静电场.

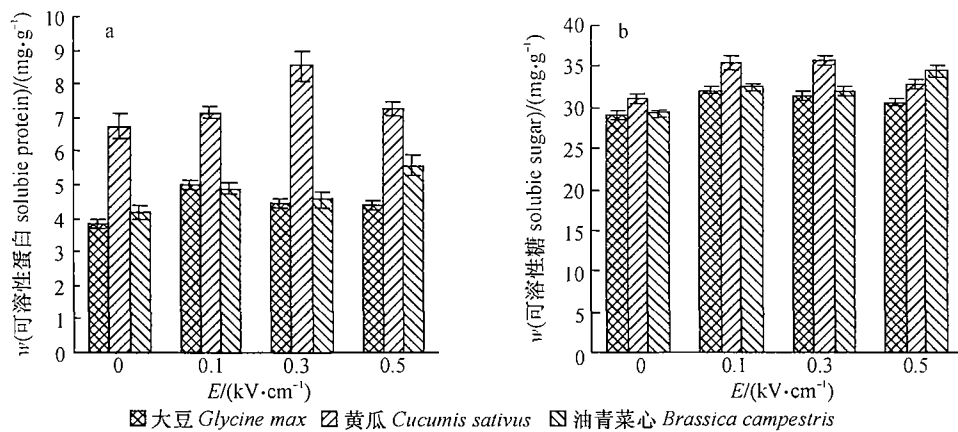


图3 不同静电场对作物叶片可溶性蛋白和可溶性糖含量的影响

Fig. 3 Effects of electrostatic field on the contents of soluble protein and soluble sugar in crop leaves

3 讨论

在静电生物学效应的机理研究中,有研究指出,在静电场作用下,水萝卜叶片光合细胞的数量、细胞中的叶绿体数以及叶绿体中类囊体片层数都有所增加^[13]. 本研究中,用静电场长期处理大豆、黄瓜和油青菜心植株能较大幅度地提高叶片中叶绿素的含量. 因为被子植物的叶绿素合成需要光照^[14],外加电场可能能够部分代替叶绿素合成过程中光的作用,从而提高植物叶绿素的合成效率. 由于在叶绿体中,叶绿素b和绝大部分叶绿素a是光合作用的主要捕光色素,而反应中心的叶绿素a分子起着转能作用,可见它们在光合作用中对光能的吸收、传递和转换

有着无可比拟的作用. 因此,静电场处理使叶绿素含量大幅上升无疑对于提高叶片对光能的吸收和转换是有利的.

在光合作用中,发生在叶绿体膜上的光合电子传递过程是光合作用的核心,外加静电场很有可能通过对光合电子传递过程的作用来影响光合细胞的光能转换. 本文采用Chla荧光诱导动力学方法研究看到,在静电场长期作用下,提高了大豆、黄瓜和油青菜心3种作物叶片光合细胞PSⅡ的潜在活性及原初光能转换效率,并且 $\Delta F_v/T$ 值的提高进一步证实静电场处理提高了光合电子传递速率. 这些结果有助于深化静电场对光合作用影响的机理研究.

在本试验中,还观察到外加静电场提高了光合

细胞叶绿体膜中 Mg^{2+} - ATP 酶和 Ca^{2+} - ATP 酶活性的现象. 关于静电场提高叶绿体膜中 Mg^{2+} - ATP 酶和 Ca^{2+} - ATP 酶活性的原因, 笔者认为可能有两个: 一是外加静电场提高了叶绿体膜内外的电势差, 使得膜内外的质子动力势增加, 提高了叶绿体膜上 ATP 酶利用膜内外质子动力势进行光合磷酸化的能力; 再就是静电场降低了叶绿体膜脂的过氧化程度, 提高了膜脂的流动性^[15]. 笔者已有试验证实, 静电场处理可以明显减小大豆、黄瓜和油青菜心叶片膜脂过氧化产物丙二醛 (MDA) 含量, 并且提高叶绿体膜中膜脂不饱和指数和膜流动性 (结果另报).

值得一提的是, 在植物细胞中, 以 Ca^{2+} 和钙调素 (CaM) 为核心的钙信使系统是植物细胞感受外界变化的重要信号转导系统. 在植物钙信使系统中, 定位于质膜和细胞器外膜的 Ca^{2+} - ATP 酶有重要作用^[16]. 在本研究中, 定位于叶绿体膜上的 Ca^{2+} - ATP 酶负责叶绿体膜上 Ca^{2+} 的跨膜运输, 静电场提高 Ca^{2+} - ATP 酶的活性必然会促进 Ca^{2+} 的运输. 作为第二信使, Ca^{2+} 的变化会进一步影响到细胞内的代谢反应. 因此, 在静电生物学效应的机理研究中, 静电场对光合细胞中钙信使系统的作用很值得深入探讨.

由于 Mg^{2+} - ATP 酶和 Ca^{2+} - ATP 酶的活性与光合磷酸化活性和光合作用的强弱密切相关, 它们活性的提高必然影响到光合产物的形成, 从而增加叶片中可溶性糖与可溶性蛋白含量. 在本试验中, 就各种指标而言, 不同场强的静电场对不同作物的作用效果有所差异. 从各种指标的测定结果来看, $0.1 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ 的静电场对大豆的作用效果最好, $0.3 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ 的静电场对黄瓜的作用效果最好, $0.5 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ 的静电场对油青菜心的作用效果最好. 因此, 在农业应用上, 根据不同作物对静电场的响应, 选择合适的处理场强以求最大的作用效果是重要的.

参考文献:

- [1] 王淑惠, 黎先栋, 宋长铨. 高压静电场处理小麦种子对幼苗生长和有关化学成分的影响[J]. 生物化学与生物物理进展, 1991, 18(5): 392-393, 399.
- [2] 马福荣, 温尚斌, 王锡禄, 等. 静电场处理人参种子对参苗生长及产量的影响[J]. 东北师大学报: 自然科学版, 1994(3): 333-336.
- [3] KAZIMIERZ C. The Effects of electrical field on plant growth, modern electrostatics[M]. Beijing: International Academic Publishers, 1989: 137-139.
- [4] ARNON D J. Copper in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*[J]. Plant Physiol, 1949, 24: 1-15.
- [5] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 184-185.
- [6] 蔡剑萍, 李淑俊, 肖建平. 植物叶绿体片层膜上腺三磷酶的检定[J]. 植物生理学通讯, 1980, 1(2): 33-36.
- [7] 习岗, 杨初平, 宋清, 等. 低温胁迫下香蕉叶片 Chla 荧光动力学参量的变化及其品种差异性[J]. 光子学报, 2002, 31(11): 1326-1329.
- [8] KRAUSE G H, WEIS E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics[J]. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 1991, 42(2): 313-349.
- [9] SCHREIBER U, BILGER W N C. Chlorophyll fluorescence as Q noninvasive indicator for rapid assessment of *in vivo* photosynthesis[M]//SCHULZE E D, CALDWELL M M. Ecophysiology of photosynthesis. Berlin: Springer-Verlag, 1994: 49-70.
- [10] 林世青, 许春辉, 张其德, 等. 叶绿素荧光动力学在植物抗性生理学、生态学和农业现代化中的应用[J]. 植物学通报, 1992, 9(1): 1-16.
- [11] 习岗, 杨初平, 宋清. 烟草光合细胞 Chla 荧光动力学和超弱发光对低强度射频电磁场的响应[J]. 光子学报, 2004, 33(5): 622-625.
- [12] 郭培国, 李明启. 杂交水稻及其亲本光合特性的研究[J]. 热带亚热带植物学报, 1997, 5(1): 65-70.
- [13] 马福荣, 许守民, 温尚斌, 等. 静电场对植物光合器官结构和功能的影响[J]. 生物物理学报, 1994, 10(3): 469-473.
- [14] 季宏伟, 李良璧, 匡廷云. 莲胚芽叶绿素合成对光照的依赖性[J]. 植物学报, 2001, 43(7): 693-698.
- [15] ZUBKUS V, STAMENKOVIC S. Kinetics of enzymic reactions in a. c. electric fields[J]. Biofizika, 1989, 34(4): 541-544.
- [16] 郝鲁宁, 余叔文. 植物细胞的信息系统及其功能[M]//余叔文. 植物生理与分子生物学. 北京: 科学出版社, 1992: 123-140.

【责任编辑 李晓卉】