

## 高压电场对植物电特性的影响及促进光合作用的室内试验

朱世秋<sup>1</sup>, 张琳雪<sup>1</sup>, 陈 周<sup>1</sup>, 徐 艳<sup>1</sup>, 王梦迪<sup>1</sup>, 闫建河<sup>1</sup>, 刘滨疆<sup>2</sup>

(1. 中国农业大学理学院, 北京 100083; 2. 大连市农业机械化技术推广站, 辽宁 162100)

**摘 要:** 该文试验研究了带电栽培对植物电特性和光合作用的影响。测量了带电栽培时园艺植物辣椒树的电容、电流和叶片边缘及枝条尖端的电场强度。在保持带电栽培箱温度、空气成分、湿度等环境因素相同的条件下, 分别测量了 3 种园艺植物绿萝、金钻和辣椒树在带正电、带负电及不带电栽培时, 密闭栽培箱中 CO<sub>2</sub> 浓度。结果表明, 带电栽培时植物组织电容值略减小约 0.01 nF, 植物组织内不同点电流增加 1.00~2.00  $\mu$ A, 植物叶片边缘及枝条端产生 kV/m 级的电场强度。带电栽培加速植物对 CO<sub>2</sub> 的吸收, 植物叶绿素荧光动力学参数均有不同程度的提高。带电栽培促进了植物光合作用, 带负电栽培比带正电栽培的促进作用大。

**关键词:** 光合作用; CO<sub>2</sub>; 电; 植物; 带电栽培; 电学参数; 促进

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.17.023

中图分类号: Q64

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2016)-17-0168-06

朱世秋, 张琳雪, 陈 周, 徐 艳, 王梦迪, 闫建河, 刘滨疆. 高压电场对植物电特性的影响及促进光合作用的室内试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(17): 168—173. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.17.023 <http://www.tcsae.org>  
Zhu Shiqiu, Zhang Linxue, Chen Zhou, Xu Yan, Wang Mengdi, Yan Jianhe, Liu Binjiang. Laboratory test on effects of high voltage electricity on electrostatic properties and promoting photosynthesis of plants[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(17): 168—173. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.17.023 <http://www.tcsae.org>

### 0 引 言

地球上的植物随时都受到电磁环境的影响。带电云层、各种空间电荷、雷电等空间电场不断地影响着植物的生长发育。从 20 世纪 60 年代开始, 国内外学者就开始研究静电场对植物生理及土壤生物性质的影响<sup>[1-8]</sup>。其中, 一部分工作主要是研究静电场处理作物种子和静电场对植株生长宏观参数的影响<sup>[2-5]</sup>。另一部分研究是在静电场调节植物光合作用方面<sup>[1,6-7]</sup>。

植物光合作用是地球上有机物和能量的来源, 是农作物把太阳能转化为动物及人类赖以生存的食物及氧气的最重要的物理化学过程。光合作用受各种外界环境因素的影响, 如, 光照、空气中 CO<sub>2</sub> (二氧化碳) 浓度、温度、湿度、有害气体、重金属污染等。在自然环境下, 光能利用率往往是很低的<sup>[9]</sup>。有许多工作<sup>[5,7,10-12]</sup>研究上述外界因素对植物光合作用宏观指标的影响, 如叶片气孔导度、叶片生产情况、产量等。国外的文献大多从微观、分子层面研究外界因素对光合作用的影响, 如, 外界环境快速改变引起的光系统 II 激发的动力学调节以及光合作用中强光作用、钙离子浓度变化等引起的光保护的各种分子机理<sup>[13-15]</sup>。地球上的植物处在电磁环境中, 电与磁的因素肯定也对光合作用产生影响, 但目前能找到的正式发表的、研究外加电场对光合作用影响的文献非常

有限, 正式发表的关于电磁场调节光合作用的微观机理的研究报道也很少。

纵观已有的物理农业科技, 人们主要利用具有生物效应的电、磁、声、光、热、核辐射等物理因子来调控动植物的生长发育及改善其生长环境, 在许多领域取得了较好的研究成果。特别是高压静电技术的研究和应用, 发展迅速, 为安全、高效的农业生产开拓了美好的前景。本文作者之一刘滨疆等的研究表明, 高压静电场能改变植物中钙离子的输运情况, 改变植物中钙离子浓度分布, 调节植物光合作用的强度, 促进农作物生长<sup>[1]</sup>。空间电场技术还能调节根系活力, 有效预防气传病害、土传病等, 既促进作物生长、提高作物品质及产量, 又避免了对环境的污染<sup>[2]</sup>。

在空间静电场生物效应研究的基础上, 刘滨疆等发明了植物带电栽培技术体系及栽培模式, 并已在全国部分地区推广使用。试验证明, 带电栽培具有明显的环保优势, 主要体现在以下三方面, 带电栽培技术通过电隔离装置将植物与大地隔离开, 使植物免遭土壤中害虫的侵害; 带电栽培时植物叶缘或尖端的高压静电场会电离空气, 产生微量强氧化剂臭氧和二氧化氮, 使空气病原微生物失活; 植物上的静电让会飞的害虫不能靠近植物, 减少了植物受外来病虫害的破坏, 为环境保护和食品安全提供了安全的物理方法。

带电栽培除具有明显的环保优势外, 还能促进植物生长。目前关于带电栽培调节植物光合作用的试验研究及理论研究方面, 可查阅的正式发表的国际国内研究报道及文献很少。从试验及理论两方面, 详细研究植物带

收稿日期: 2015-12-11 修订日期: 2016-06-21

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项基金资助 (2015LX002)

作者简介: 朱世秋, 女, 副教授, 博士。主要从事物理电子学及生物物理学领域的研究及教学工作, 从事物理农业领域的研究。北京 中国农业大学理学院, 100083。Email: zhushiqiu@cau.edu.cn

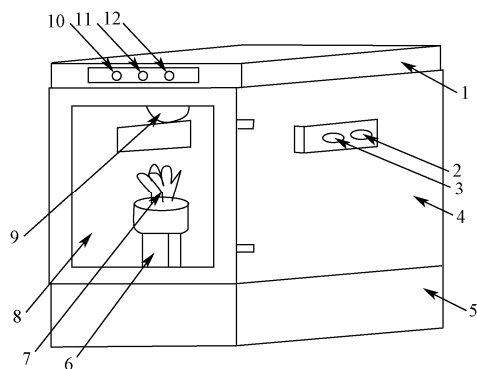
静电后的产生的一系列生物效应,包括植物电学参数的变化,对光合作用和呼吸作用的调节,对植物生长的影响等。本文首先从试验上研究带电栽培对植物光合作用的影响,以期为进一步研究带电栽培调节植物光合作用的理论机理,及研究带电栽培对植物生长的调节作用打下试验基础。

本文测量了带电栽培时植物电特性参数,测量了几种植物带电栽培时密闭环境中  $\text{CO}_2$  浓度的变化,比较了带正电、负电和不带电栽培时植物吸收  $\text{CO}_2$  快慢的不同,为下一步研究带正电或负电对不同种类植物光合作用的调节机理提供试验基础,为带电栽培技术在生态农业中的有效应用及推广提供实验及理论依据。本文还测量了带电栽培时植物叶片边缘及枝条尖端的电场强度,为下一步分析带电栽培对植物周围空气分子的电离作用,及其对周围环境气氛的影响提供依据,为下一步探索家用带电盆栽植物对居室空气环境的影响、对人体健康的影响机理及潜在应用奠定基础。

## 1 材料及方法

本试验内容主要包括两部分,第一部分为带电栽培对植物电特性的影响,第二部分为带电栽培对植物吸收  $\text{CO}_2$  的影响。

试验装置如图 1 所示,在带电栽培箱中,底部的塑料盆内放置栽培用的适量土壤,把植物栽培在盆内,盆的底部有电极接高压电源,输出电压最高为  $-18\text{ kV}$  左右,功率小于  $15\text{ W}$ 。箱的顶部是 LED 灯,用于补光,本试验中使用的是红光,光照强度可用光强计测量出。栽培箱的两侧有小孔,用于接通光合测定仪的气管,监测箱内  $\text{CO}_2$  或其它气体的浓度。



1.顶箱; 2,3.气孔; 4.栽培箱; 5.底箱; 6.花盆; 7.试验植物; 8.有机玻璃门; 9.补光灯; 10.等开关; 11,12.正、负电开关  
1.Top box; 2,3.Holes for gas; 4.Box for cultivation; 5.Bottom box; 6.Flower pot; 7.Plants; 8.Gate; 9.LED lamp; 10.Power switch of lamp; 11,12. Power switch of electricity

图 1 带电栽培植物试验装置示意图

Fig.1 Schematic of plant cultivated in closed box with high voltage electricity

为对比研究带正电、负电及不带电对植物电特性和植物吸收  $\text{CO}_2$  的影响,设计了 3 个栽培箱分别命名为 A、B 和 C: A 箱带正电, B 箱带负电, C 箱为不带电的对照箱。3 个箱只是带电不同,其他结构和参数均一样。

## 1.1 带电栽培对辣椒树电特性的影响试验

### 1.1.1 试验材料和试验条件

以观赏植物菜豆树(俗名“辣椒树”或“幸福树”)为研究对象,研究带电栽培对植物组织电特性的影响。分别选取 3 盆生长良好、且长势、生理状况基本相同的盆栽辣椒树幼苗,每盆 5 株。平均株高为  $(18 \pm 2)\text{ cm}$  试验前置置于实验室条件下培养。

试验于 2015 年 7 月 18 日、7 月 19 日和 7 月 21 日的 09:00—14:30 进行,这 3 d 天气均晴好,温湿度相差不大,实验室内的温度分别为  $24.8$ 、 $24.6$  和  $26.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,湿度分别为  $74\%$ 、 $78\%$  和  $75\%$ ,分别测量辣椒树带正电、负电和不带电栽培时的电学参数。

### 1.1.2 试验方法

用 UT890D 型数字万用表测量辣椒树组织的电容  $C$ 、电流  $I$  和电压  $U$  值。先测量植物不带电时的各电参数值,再测量带电开始后植物不同部位相应参数的值,观察测量值的变化,待显示值基本稳定时读测量值,各测量 3 次,结果取平均值。测量时,保持两电极间距为  $5\text{ cm}$ 。电容是测量辣椒树冠层组织的电容,电流是测量其相邻叶片间、同一片叶的叶缘处及叶脉处的电流,电压是测量其叶片边缘或枝条尖端的电压,及离空间一定距离处的电压值。在很短段距离内可近似认为电场是均匀的,

由  $E = \frac{\Delta U}{d}$ , 计算出叶片边缘的电场强度  $(\text{V/m})$  及其沿外延空间的变化,

## 1.2 带电栽培对植物吸收 $\text{CO}_2$ 的影响试验

### 1.2.1 试验仪器和设置

$\text{CO}_2$  浓度的测量采用北京益康农科技发展有限公司生产的 ECA-PB0402 光合测定仪,该仪器输出的  $\text{CO}_2$  浓度单位为  $\text{ppm}$ ,将其换算为  $\mu\text{L/L}$ ,和文献[1]中一致。

本文中所有测量植物吸收  $\text{CO}_2$  的试验均是在环境  $\text{CO}_2$  浓度中进行,试验过程中没有补充  $\text{CO}_2$ 。

为对照,先测量试验室内没有栽培植物、没有通电、没有补光的密闭箱内  $\text{CO}_2$  浓度值。测量发现,在试验的不同时段,环境  $\text{CO}_2$  浓度有所不同,但在每个试验时段,测量值基本稳定,约有  $5\text{ }\mu\text{L/L}$  的浮动。

A 箱和 B 箱内植物的带电均设置为间隔带电:带电  $1\text{ h}$  停  $0.5\text{ h}$ ,再带电  $1\text{ h}$  停  $0.5\text{ h}$ ,如此循环。不带电栽培箱 C 内的植物为对照组。

### 1.2.2 试验材料和试验方法

试验共进行了 4 次。第 1 次的试验材料为生长状态基本一致的绿萝 3 盆,测量过程中 3 盆试验材料分别栽培于 A、B、C 3 个箱内,它们的平均株高为  $(20 \pm 2)\text{ cm}$ 。第 2 次的试验材料为生长状态基本一致的金钻 3 盆,平均株高为  $(15 \pm 2)\text{ cm}$ 。绿萝向阳性不强,只需要适度接触阳光,便进行光合作用。金钻也属于天南星科植物,生命力极强,叶片宽,叶质厚而翠绿,也是研究光合作用的理想材料,同时更便于与属于同一科的绿萝的试验结果进行对比分析,以便得到较为准确的试验结论。第 3、4 次试验材料为生长状态基本一致的辣椒树 3 盆,每盆 5

株, 平均株高分别为  $(17 \pm 2)$  cm。

第 1 次对绿萝的试验在 2015 年 5 月 26 日进行, 试验时间从 14:00 开始, 测量时间为 60 min。实验室温度为  $28^{\circ}\text{C}$ , 湿度为 48%。测量 A、B、C 3 个栽培箱内 LED 灯的光照强度为: 叶上端 1537lx, 叶下端 205lx。试验前测定 A、B、C 3 个密闭栽培箱内不带电无光照时的初始  $\text{CO}_2$  浓度分别为 320、312 和  $356 \mu\text{L/L}$ 。然后, 开 LED 灯, 植物在 LED 红光下照射 30 min 后, 箱内  $\text{CO}_2$  浓度发生改变, A、B、C 3 个密闭栽培箱分别为 345、450 和  $381 \mu\text{L/L}$ 。然后接通 A 箱和 B 箱的电源, 开始测量箱内的  $\text{CO}_2$  浓度随时间的变化。

第 2 次对金钻的试验在 2015 年 6 月 10 日进行, 试验从中午 12:30 到 15:00, 测量时间为 60 min。实验室温度为  $25^{\circ}\text{C}$  左右, 湿度为 73%。测量光照强度为: 金钻叶上端 为 707LUX, 叶下端为 184LUX。试验前测定 A、B、C 3 个带电栽培箱无光照、不通电时的稳定初始  $\text{CO}_2$  浓度分别为 404、428 和  $427 \mu\text{L/L}$ 。然后, 开 LED 灯, 植物在 LED 红光下照射 30 min 后, 箱内  $\text{CO}_2$  浓度发生变化, A、B、C 3 个密闭栽培箱分别为 426、485 和  $428 \mu\text{L/L}$ 。然后接通 A 箱和 B 箱的电源, 开始测量箱内  $\text{CO}_2$  浓度随时间的变化。

第 3、4 次试验是对辣椒树的带电栽培, 于 2015 年 7 月 18 日进行, 对应 2 个测量时段: 10:20—11:30 和中午 13:10—13:40, 试验室气温为  $25^{\circ}\text{C}$ , 湿度为 74%。把已选好的 3 盆辣椒树放入带电栽培箱内, 关闭箱门, 测定没有带电、没有红光时各箱内  $\text{CO}_2$  浓度稳定值, 然后, 开 LED 灯, 植物在 LED 红光下照射 30 min 后, 接通正、负带电箱电源, 20 min 后开始测量, 每隔 10 min 测量一次各箱内  $\text{CO}_2$  浓度。

### 1.3 带电栽培对植物叶绿素荧光动力学参数的影响试验

#### 1.3.1 试验材料和仪器

试验材料为绿萝, 测量仪器为叶绿素荧光仪 PAM-2100。

#### 1.3.2 试验方法

把生长状态基本相同的 3 盆绿萝分别栽培在 A、B、C 3 个箱中, 进行带电及 LED 红光光照作用 1 h, 然后在绿萝上取相同部位待测叶片, 暗适应 20 min 后, 用叶绿素荧光仪 PAM-2100 测量叶绿素荧光动力学参数, 包括光合细胞中 PS II 的原初光能转换效率  $F_v/F_m$ , 反映植物实际光合效率的实际量子产量 Yield, 和反映植物光合活性高低的光化学淬灭参数 QP。

## 2 结果与分析

### 2.1 带电栽培影响植物电学参数的试验结果及分析

#### 2.1.1 电容测量结果及分析

测量发现, 辣椒树带电前后, 对 A、B、C 3 个箱内空气的电容几乎没有影响。C 箱内辣椒树冠层组织的电容为 0.036 nF, A 箱和 B 箱内的辣椒树冠层组织的电容从通电开始的 0.036 nF 分别下降到通电稳定后的 0.025 (A 箱) 和 0.022 nF (B 箱), A 箱内植物的电容下降 0.011 nF,

B 箱内植物的电容下降 0.013 nF。郭永川<sup>[11]</sup>等研究失水对植物生理特性和电特性的影响, 通过测量植物叶片的电参数, 认为叶片内水分的减少, 导致叶片的介电常数减小, 从而表现出电容值减小。在试验中, 植物带电引起电容的减小的机理有待进一步的实验和理论研究, 可能与植物上的高压静电场导致植物组织中的水等分子的极化、电离及离子输运等有关。

#### 2.1.2 电流测量结果及分析

试验中测量了辣椒树在带电开始和带电稳定后不同位置的电流。结果如表 1 所示。

表 1 带电栽培时植物组织内电流的测量值  
Table 1 Measured current in living plant cultivated with high voltage electricity

测量位置 Measured place	A 箱电流 $I$ Current in A box/ $\mu\text{A}$		B 箱电流 $I$ Current in B box/ $\mu\text{A}$	
	通电始 Start	稳定 Stable	通电始 Start	稳定 stable
两片叶间 Between leaves	0.86	2.23	0.16	2.56
叶缘 Edge of leaf	0.76	2.01	0.16	2.13
叶脉 Leaf net	0.26	1.54	0.28	2.03

从表 1 可以看出, 带电栽培时植物体内电流随着接通电源慢慢发生变化, 带电稳定后, 在不同部位电流增加量  $\Delta I$  不同, A 和 B 箱两相邻叶间  $\Delta I$  分别为 1.37 和  $2.40 \mu\text{A}$ ; 叶缘上分别为 1.25 和  $1.97 \mu\text{A}$ ; 叶脉上分别为: 1.28 和  $1.75 \mu\text{A}$ 。带电栽培使植物组织内的电流均有增加。张道勇等的研究表明<sup>[12]</sup>, 植物电学参数的测量能在一定程度上反映植物对胁迫的敏感性和耐受性, 外界环境发生变化的情况下, 植物电位变化是细胞内外进行交流的信息载体。带电栽培使植物带电, 使植物体内电流增加, 必然对植物生理产生影响。

#### 2.1.3 电压及电场强度测量结果及分析

在距叶缘不同距离, 测量植物带电栽培后的电压, 计算出电场强度, 结果如表 2 所示。

表 2 带电栽培植物叶缘与枝条端的电压值和电场强度  
Table 2 Measured voltages and electric field strength at ends of plant leaves and branches

测量距离 (距叶缘) Distance from leaf edge/cm	电压 Voltage/V				电场强度 Field strength/( $\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$ )			
	A 箱 A box		B 箱 B box		A 箱 A box		B 箱 B box	
	通电始 Start	稳定 Stable	通电始 Start	稳定 Stable	通电始 Start	稳定 Stable	通电始 Start	稳定 Stable
5	90	202	104	154	2 000	4 040	2 080	3 080
10	30	40	53	40	300	400	530	400
40	0.63	3.55	0.68	0.11	1.58	8.88	1.70	0.28
70	0.305	0.2	0.098	0.086	0.44	0.29	0.14	0.13

从表 2 可见, 带电栽培让植物带电, 从叶缘到空间一定距离的电压在带电栽培过程中逐渐增大, 最终达到稳定, 叶缘和枝条尖端上均有 kV 级的高压, 与空间形成一个强静电场, 场强随离叶缘距离越远减弱。在植物尖端附近 5 cm, 电场强度约  $4.00 \times 10^3 \text{ V/m}$ 。然后, 沿空间逐渐递减, 距植物叶缘 40 cm 后, 电场很快减小, 到 70 cm 后接近于 0。试验中发现, 当电表笔接近植物尖端处, 空气会电离放电。

2.2 带电栽培对植物 CO<sub>2</sub> 吸收影响的试验结果及分析

2.2.1 带电栽培对植物 CO<sub>2</sub> 吸收影响的试验结果

本试验测量了绿萝、金钻和辣椒树 3 种园艺植物在带电栽培时密闭空间 CO<sub>2</sub> 浓度，试验结果如图 2 及图 3 所示。

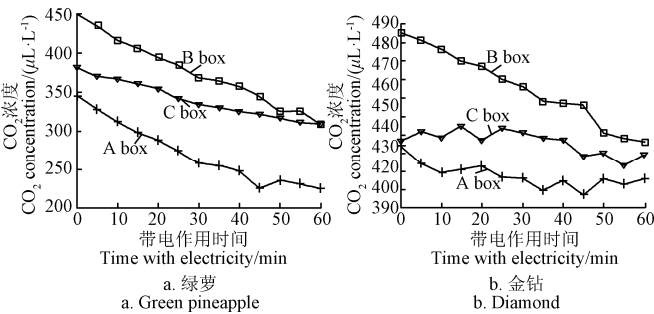


图 2 带电栽培植物时 A、B、C 箱内 CO<sub>2</sub> 浓度随时间的变化  
Fig.2 Change of CO<sub>2</sub> concentration in A, B and C closed boxes where plants are cultivated with high voltage electricity

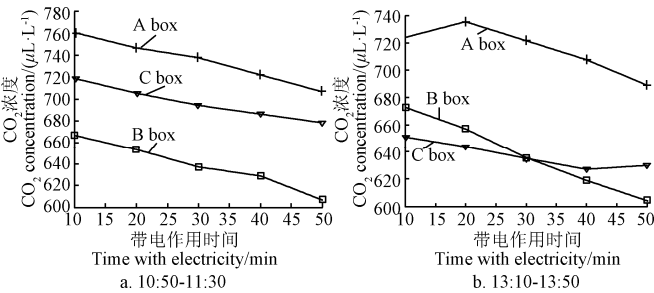


图 3 不同时段带电栽培辣椒树密闭箱内 CO<sub>2</sub> 浓度的变化  
Fig.3 Change of CO<sub>2</sub> concentration in closed box where pepper trees are cultivated with high voltage electricity in different time

从图 2a 可以看出，带电栽培绿萝的密闭箱 A、B 和 C 内，CO<sub>2</sub> 浓度速率下降速率明显不同，分别是 2、2.35 和 1.2 μL/(L·min)。带负电栽培的 B 箱内 CO<sub>2</sub> 浓度下降最快。

试验中，也测量了带电栽培绿萝前后各箱内 O<sub>2</sub> 的体积分数，发现带电栽培绿萝对箱内空气中 O<sub>2</sub> 体积分数的影响不明显，作用前后 3 个栽培箱内 O<sub>2</sub> 体积均为 21% 左右。

从图 2b 看出，带电栽培金钻的 A、B、C 3 个箱内，CO<sub>2</sub> 浓度下降速率均弱于绿萝，分别为 0.3、0.98 和 0.12 μL/(L·min)。

从图 3a 和图 3b 中可以看出，带电栽培辣椒树在 A、B、C 箱内 CO<sub>2</sub> 浓度的下降速率在不同的时段是不同的，在上午 10:50—11:30 时段，分别为 1.35、1.50 和 1.02 μL/(L·min)，在 13:10—13:50 时段，分别为 0.88、1.73 和 0.53 μL/(L·min)。

2.2.2 带电栽培对植物吸收 CO<sub>2</sub> 影响结果分析

以上结果表明，对不同植物，带电栽培对其吸收 CO<sub>2</sub> 的影响是不同的。带电栽培对绿萝吸收 CO<sub>2</sub> 的影响大于辣椒树和金钻。带电栽培金钻时 CO<sub>2</sub> 浓度的下降速率是最少的。即使是对同一种植物（辣椒树），试验时段不同，带电对其吸收 CO<sub>2</sub> 的影响也不同，上午的 A、C 箱内 CO<sub>2</sub> 浓度下降速率大于中午的，而带负电的 B 箱内中

午的 CO<sub>2</sub> 浓度下降速率略大于上午的。但不管是绿萝、金钻还是辣椒树，CO<sub>2</sub> 浓度的下降速率规律都是：带负电的 B 箱>带正电的 A 箱>对照组 C 箱。带电栽培加快了植物对 CO<sub>2</sub> 的吸收，带负电栽培对植物吸收 CO<sub>2</sub> 的促进最显著。

2.3 带电栽培影响植物叶绿素荧光动力学参数的试验结果及分析

植物体内叶绿素荧光与光合作用过程中的各种反应密切相关，可以通过叶绿素荧光诱导动力学曲线和由它导出的叶绿素荧光动力学参数来反映<sup>[6]</sup>。利用叶绿素荧光诱导动力学技术可以快速、灵敏且无损地测得反映植物光合作用系统的运转和变化指标的的参数<sup>[16]</sup>。荧光动力学是测定植物从暗转到光照的条件下，其光合作用从休止钝化状态转为局部活跃状态，直到全部正常运转状态过程中的荧光动态变化<sup>[17]</sup>。利用叶绿素荧光仪 PAM-2100，对带电栽培的绿萝测量了叶绿素荧光动力学参数。在叶绿素荧光动力学各参数中，F<sub>0</sub> 代表固定荧光，F<sub>v</sub> 代表可变荧光。F<sub>m</sub> 为最大荧光，等于 F<sub>v</sub> 与 F<sub>0</sub> 之和，F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> 的比值表征光合细胞中 PS II 原初光能转换效率的大小<sup>[18]</sup>。

从表 3 中可以看出，带负电栽培 1 h 后，绿萝的几个叶绿素荧光动力学参数都比带正电和不带电栽培的要高，带负电栽培 1 h 后，光合细胞中 PS II 的原初光能转换率 F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>、实际量子产量及反映植物光合活性高低的光化学淬灭 QP 分别比没有带电栽培的绿萝高出 0.041、0.064 和 0.062。说明带电栽培确实提高了绿萝的光合作用效率，带负电比带正电更有效地促进光合作用。这和上面得到的带负电栽培促进植物吸收 CO<sub>2</sub> 的结论一致。

表 3 绿萝带电栽培后叶绿素荧光动力学参数

Table 3 Chlorophyll fluorescence parameters of green pineapple after high voltage electricity action

带电类型 Type of electricity	原初光能转换率 Maximal photochemical efficiency of PS II	实际量子产量 Actual photochemical efficiency of PS II	光化学淬灭系数 Photochemical quenching coefficient
正电 Positive	0.779	0.691	0.931
负电 Negative	0.783	0.702	0.937
不带电 No electricity	0.743	0.638	0.875

3 讨 论

1) 带负电栽培对植物吸收 CO<sub>2</sub> 的影响最大，提高了绿萝荧光动力学参数，明显促进光合作用。植物带负电时与空间形成正向电场，和大气电场方向一致，促进植物光合作用，这和文献[1]中的研究结论一致。植物带正电对光合作用的促进作用没有带负电栽培时强，但植物带正电也对植物吸收 CO<sub>2</sub> 有所促进，原因和机理还需要进一步的试验和理论研究。

2) 测量的实验室环境中 A、B、C 3 个箱内 CO<sub>2</sub> 浓度有微小差别。当把植物放入箱内，用红光照射 30 min 后，CO<sub>2</sub> 浓度会增加，且增加程度有不同，所以，测量带电栽培对植物吸收 CO<sub>2</sub> 的影响时，3 个箱内的初始 CO<sub>2</sub> 浓度不同，而环境中 CO<sub>2</sub> 浓度的高低对植物光合作用有较大

影响,所以下一步的试验中,将在带电栽培箱内补充  $\text{CO}_2$ ,使 3 个栽培箱内  $\text{CO}_2$  初始浓度相同,实现在环境参数完全相同的情况下,进行带电栽培对植物光合作用的影响的试验,明确带电栽培为唯一变量对植物光合作用的影响。

3) 本文虽然测量了带电栽培对植物电学参数的影响,但未能研究电学参数的改变和植物光合作用效率提高之间的联系。下一步还需要开展系列试验和理论研究来确定二者之间的关系。

在文献[19]中,作者综述了植物在对环境的各种胁迫所引起的电信号在植物生理中的作用<sup>[19]</sup>。在植物与环境的相互作用中,尤其是对胁迫的反应和胁迫信号传递中,电信号是起着重要的作用。与化学信号(如植物激素)不同,电信号能够把信息很快地传到整个植物内较远的距离。如在干旱环境下,电信号在从根到芽的信号传递中起重要作用。不同的环境因素刺激触发特定的电信号,每一个电信号对植物生理过程都有特定的影响,直接与最重要的光合作用和呼吸作用相关。对于带电栽培和电信号的传输、以及和光合作用之间的关系,还需开展进一步的研究。

#### 4 结 论

1) 试验研究了带电栽培对植物(辣椒树)电学参数的影响。植物带电后,其组织内电容减小、电流增加,植物叶缘和枝条尖端带千伏级的高压静电场。

2) 试验研究了带电栽培对绿萝、金钻和辣椒树 3 种园艺植物吸收  $\text{CO}_2$  的影响。带电栽培对不同植物吸收  $\text{CO}_2$  的影响不同。对同一种植物,测量时段不同,影响也不同。但有共同点:带电栽培均能促进植物对  $\text{CO}_2$  的吸收,带负电栽培对植物吸收  $\text{CO}_2$  的促进最大,且提高了绿萝原初光能转换率  $F_v/F_m$ 、实际量子产量 Yield 等荧光动力学参数,带负电加强了植物的光合作用。

#### [参 考 文 献]

- [1] 李旭英,刘滨疆,陈淑英. 空间电场对植物吸收  $\text{CO}_2$  和生长速度的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(10): 177—181.  
Li Xuying, Liu Binjiang, Chen Shuying. Effects of space electric field on absorption of  $\text{CO}_2$  and growth speed of plants[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(10): 177—181. (in Chinese with English abstract)
- [2] 陈淑英,李旭英,刘宇,等. 空间电场对土壤水分和大麦生长的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 59—63.  
Chen Shuying, Li Xuying, Liu Yu, et al. Effect of spatial electric field on soil moisture and barley growth[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(2): 59—63. (in Chinese with English abstract)
- [3] 张雪,朱世秋,张喜春,等. 微波及高压静电场对番茄种子的生物效应[J]. 农业工程, 2014 年, 4(增刊): 7—12.
- [4] Mohammadzadeh M, Mobasher H, Arazm F. Electromagnetic field (EMF) effect on channel activity of nanopore OmpF protein[J]. European Biophysical J, 2009, 38: 1069—1078.
- [5] Denisova T V, Sh K, Kazeev, Kolesnikov S I, et al. Integrated evaluation of different electromagnetic impacts on biological properties of soils in Southern Russia, ISSN 1064\_2293, Eurasian Soil Science, 2011, 44(11): 1269—1273.
- [6] 曹永军,习岗,宋清,等. 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[J]. 华南农业大学学报, 2007, 1: 86—90.
- [7] 曹伍林,宋琦. 环境变化对植物叶片结构光合作用的影响. 安徽农业科学, 2014, 42(11): 3221—3222, 3256.
- [8] 郭建,赵博光,刘云飞,等. 植物体内的电波传递[J]. 南京林业大学学报, 2000, 24(3): 71—76.
- [9] 武维华,植物生理学[M].北京: 科学出版社, 2014.
- [10] 林琨,张鼎华. 胁迫环境对植物光合作用的影响[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(31): 10839—10840, 10887.
- [11] 郭文川,伍凌,魏永胜. 失水对植物生理特性和电特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(4): 185—188, 191.
- [12] 张道勇,邓春暖,潘响亮. 三种植物对 UV-B 辐射和臭氧污染的电生理响应[J]. 地球与环境, 2008, 36(3): 213—217.
- [13] Allen Derks, Kristin Schaven, Doug Bruce. Diverse mechanisms for photoprotection in photosynthesis. Dynamic regulation of photosystem II excitation in response to rapid environmental change[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 2015, 1847: 468—485.
- [14] Ana Karina Hochmal, Stefan Schulze, Kerstin Trompelt, et al. Calcium-dependent regulation of photosynthesis[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 2015, vol.1847: 993—1003.
- [15] Ana Karina Hochmal, Stefan Schulze, Kerstin Trompelt, et al. Calcium-dependent regulation of photosynthesis[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 2015, 1847: 993—1003.
- [16] Krause G, Weis E. Chlorophyll fluorescence as a tool in plant physiology[J]. Photosynthesis Research, 1984, 5(2): 139—157.
- [17] 任华中,黄伟,张福墀. 低温弱光对温室番茄生理特性的影响[J]. 中国农业大学学报, 2002, 7(1): 95—101.
- [18] Schreiber U, Bilger W. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis[J]. Eco-physiology of Photosynthesis, 1995, 100: 49—70.
- [19] Alexander Gallé, Silke Lautner, Jaume Flexas, et al. Environmental stimuli and physiological responses: The current view on electrical signaling[J]. Environmental and Experimental Botany, 2015, 114: 15—21.

## Laboratory test on effects of high voltage electricity on electrostatic properties and promoting photosynthesis of plants

Zhu Shiqiu<sup>1</sup>, Zhang Linxue<sup>1</sup>, Chen Zhou<sup>1</sup>, Xu Yan<sup>1</sup>, Wang Mengdi<sup>1</sup>, Yan Jianhe<sup>1</sup>, Liu Binjiang<sup>2</sup>

(1. College of Science, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Dalian Agriculture Mechanization Institute, Liaoning 162100, China)

**Abstract:** The photosynthesis and growth of plants are affected by many environment factors such as temperature, humidity, light, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) concentration, electrical field and magnetic field. In this paper the effects of high voltage electricity on the photosynthesis of plants are studied experimentally. Two boxes A and B which have positive or negative high voltage electricity are used. Plants can be grown in the garden pot with electricity, and electrical sources are fixed inside the bottom of the boxes. On the top of box a LED (light-emitting diode) bulb is settled as photosynthesis light. We use red light in these experiments. Another box C with no electricity is used for contrast research. First, the static-electrical parameters such as capacitance and current of living tissue of pepper tree leaves are measured while the plants are cultivated with high static-electricity in the boxes. Experimental results show no matter which positive or negative electricity is added on the plants, the capacitances at different points of leaves are lowed by about 0.01 nF, and the currents at different points of plants increase by 1.00-2.00  $\mu$ A. A high electrical field of several kilovolts per meter is created at the edges of leaves and branches while the plants are cultivated with high voltage electricity. In order to study how the photosynthesis of plants is affected by positive or negative electricity, the CO<sub>2</sub> concentrations in the closed boxes A, B and C are measured during the same cultivation time, respectively. The results show that the CO<sub>2</sub> concentration in the box B where plants are charged negatively decreases the most. In the experiment of green pineapple the decrease rate of CO<sub>2</sub> concentration is 2  $\mu$ L/(L·min) in A box, 2.35  $\mu$ L/(L·min) in B box and 1.2  $\mu$ L/(L·min) in C box. In the experiment of golden diamond tree the decrease rate of CO<sub>2</sub> concentration is 0.3  $\mu$ L/(L·min) in A box, 0.98  $\mu$ L/(L·min) in B box and 0.12  $\mu$ L/(L·min) in C box, respectively. In the experiments of pepper tree the decrease rate of CO<sub>2</sub> concentration is 1.35, 1.50 and 1.02  $\mu$ L/(L·min) in the boxes A, B and C respectively during the time from 10:50 to 11:30, and 0.88, 1.73 and 0.53  $\mu$ L/(L·min) in the boxes A, B and C respectively during the period of 13:10-13:50. The measured results show the similar tendency of CO<sub>2</sub> concentration decreasing and the photosynthesis of negatively charged plants is more improved. The photosynthesis of positively charged plants is also improved compared with the plants that are not charged. The chlorophyll fluorescence data of green pineapple are measured. The primary light energy conversion efficiency, yield and photochemical quenching parameter of green pineapple after cultivation with negative electricity are higher than those charged positively or not charged. This experimental study shows that negative high voltage electricity on plants increases the CO<sub>2</sub> absorption rates of plants and promotes their photosynthesis greatly. In order to make clear the relationship between the electrical parameters of plants and the transmission of electrical signals in plants triggered by electrical stimuli, many experimental and theoretical works need to be carried out. How the electrical stimuli affect the photosynthesis and respiration of plants will be studied next.

**Keywords:** photosynthesis; CO<sub>2</sub>; electricity; plants; cultivation with high voltage electricity; electrical parameters; promotion